

## Fitoplancton de la zona litoral del departamento del Atlántico, Colombia Phytoplankton of the coastal zone of the department of Atlántico, Colombia

Ana C. De la Parra-Guerra<sup>1,2</sup> , Carlos A. García-Alzate<sup>1,3\*</sup> , Luis C. Gutiérrez-Moreno<sup>1</sup> 

1. Grupo de Investigación Biodiversidad del Caribe Colombiano, Facultad de Ciencias Básicas, Programa de Biología, Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia

2. Departamento de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de la Costa, Barranquilla, Colombia.

3. Grupo de investigación estudios en sistemática y conservación, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca y Universidad del Atlántico, Barranquilla, Colombia

<sup>Ψ</sup>En memoria

### Resumen

Las comunidades biológicas están conformadas por grupos taxonómicos, donde el fitoplancton, como productor primario, tiene una relevancia ecológica: sirve para comprender la estructura y el funcionamiento de un ecosistema y la manera en la que los organismos interactúan con los parámetros fisicoquímicos. Con el fin de evaluar la riqueza y la abundancia del fitoplancton de la zona litoral del departamento del Atlántico y su asociación con las variables fisicoquímicas para conocer sus cambios espaciales y temporales, se realizaron monitoreos durante el año 2013. Se ubicaron cinco zonas a lo largo de la zona litoral como Astilleros, Santa Verónica, Puerto Velero, Puerto Colombia y Mallorquín. En cada una se establecieron tres estaciones, distribuidas en línea recta, con distancia entre ellas de 5 km. Para la recolecta de las muestras de fitoplancton y clorofila *a* (Cl-*a*), en cada una de las estaciones se filtraron 24 L de agua superficial, con un tambor cónico con malla de diámetro de poro de 24  $\mu\text{m}$  y con botellas ámbar de 500 mL, respectivamente, las cuales se mantuvieron en oscuridad. Adicionalmente, se registraron *in situ* variables fisicoquímicas. Se identificaron un total de 560  $\text{cél.mL}^{-1}$  de fitoplancton, agrupadas en 47 especies y cinco clases. Las Bacillariophyceae presentaron las mayores densidad y riqueza, seguidas de las Dinophyceae, Cyanophyceae, Euglenophyceae y Chlorophyceae. *Chaetoceros* sp. (83  $\text{cél.mL}^{-1}$ ) y *Chaetoceros lorenzianus* (64  $\text{cél.mL}^{-1}$ ) fueron las especies más abundantes y más representativas, precisamente por su abundancia. El análisis de Jaccard mostró una disimilitud de un 80 % entre las estaciones 5A, 5B y 5C, lo que indica una composición diferente. En general, las estaciones de monitoreo se comportaron como sitios contaminados con alta influencia de las aguas del río Magdalena.

**Palabras clave:** Clorofila *a*; indicador, Chaetoceros; zona litoral

### Abstract

Biological communities are made up of taxonomic groups, where phytoplankton, as primary producer, has an ecological relevance, it serves to understand the structure and functioning of an ecosystem and the way in which they interact with physicochemical parameters. In order to evaluate the richness and abundance of phytoplankton in the coastal zone of the department of Atlántico and its association with physicochemical variables and thus know its spatial and temporal changes, monitoring was carried out during 2013. Five zones were located at along the coastal zone such as Astilleros, Santa Verónica, Puerto Velero, Puerto Colombia and Mallorquín. In each zone, three stations were established, located in a straight line, with a distance between them of 5 km. For the collection of the phytoplankton and chlorophyll *a* (Cl-*a*) samples, 24 L of surface water were filtered at each of the stations, with a conical drum with a 24  $\mu\text{m}$  pore diameter mesh and with 500 mL, respectively, which were kept in the dark. Additionally, physicochemical variables were recorded *in situ*. A total of 560  $\text{Cél.mL}^{-1}$  of phytoplankton were identified, grouped into 47 species and five classes. The Bacillariophyceae presented the highest density and richness, followed by the Dinophyceae, Cyanophyceae, Euglenophyceae and Chlorophyceae. *Chaetoceros* sp. (83  $\text{Cél.mL}^{-1}$ ) and *Chaetoceros lorenzianus* (64  $\text{Cél.mL}^{-1}$ ) were the most abundant and most representative species precisely because of their abundance. Jaccard's analysis showed a dissimilarity of 80 % between stations 5A, 5B, 5C, indicating a different composition. In general, the monitoring stations that behaved as contaminated sites with a high influence of the waters of the Magdalena River.

**Key words:** Chlorophyll *a*; indicator; Chaetoceros; littoral zone

\*Autor de correspondencia: [carlosgarciaa@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:carlosgarciaa@mail.uniatlantico.edu.co)

Editor: Cesar Tamaris - Turizo

Recibido: 24 de marzo de 2022

Aceptado: 24 de abril de 2022

Publicación en línea: 17 de agosto de 2022

Citar como: De la Parra-Guerra, A.C., García-Alzate, C.A., y Gutiérrez-Moreno L.C. 2022. Fitoplancton de la zona litoral del departamento del Atlántico, Colombia. Intropica 17(2): 162-172.

<https://doi.org/10.21676/23897864.4529>

## Introducción

Para comprender la estructura y el funcionamiento de un ecosistema, se deben considerar tanto los procesos biológicos (individuos o poblaciones) como la manera en la que interactúan con los parámetros abióticos (como los fisicoquímicos) (Lambert y Sommer, 1997). Las alteraciones físicas y químicas del agua repercuten en las respuestas individuales, poblacionales, comunitarias y ecosistémicas de los organismos acuáticos (Vélez-Azañero *et al.*, 2016). Las comunidades hidrobiológicas están conformadas por diversos grupos taxonómicos, donde el fitoplancton, por su rol como productor primario y primer eslabón autotrófico de la trama trófica, tiene mayor relevancia ecológica. Este sirve de alimento a organismos mayores, como zooplancton, macroinvertebrados y peces (Roldán y Ramírez, 2008), además de ser referente del estado ecológico de cualquier ecosistema acuático (Wan-Maznah, 2010; Kshirsagar, 2013; Vélez-Azañero *et al.*, 2016).

Actualmente, la calidad ambiental de los recursos hidrobiológicos se encuentra en degradación continua, principalmente por las acciones y actividades de los seres humanos (acciones antropogénicas), que perjudican la integridad de los atributos y servicios ecosistémicos acuáticos y terrestres y modifican la evolución natural de estos en diferentes escalas (Santillán-Aredo y Guerrero-Padilla, 2018). Por ende, la vida acuática está determinada por la calidad del agua: todo cambio en ella involucra variaciones en la biota y en su fisicoquímica. De tal forma, el ecosistema marino se comporta como un enorme sistema sobre el cual inciden factores de carácter natural y antrópico que modifican sus niveles de estabilidad (Blanco *et al.*, 2020). Las mayores amenazas a las que se enfrentan la salud, la productividad y la diversidad biológica del medio marino provienen de actividades humanas realizadas en la matriz tierra, lo cual afecta las zonas más productivas del medio marino, incluidos los estuarios y las aguas de zonas costeras (Pereira *et al.*, 2009; Hennemann y Petrucio, 2011).

Por consiguiente, se hace necesario determinar la composición y estructura del fitoplancton de las zonas costeras y su asociación con las variables fisicoquímicas, estudio de línea base para el desarrollo de futuras investigaciones que aporten conocimiento sobre la dinámica de los cuerpos de agua con características estuarinas en el departamento del Atlántico, así como proyectos en el ámbito taxonómico, ecológico y el uso del fitoplancton como bioindicador e incentivar en un servicio social a la comunidad al cuidado y protección de los recursos hídricos. En consecuencia, los objetivos de este trabajo fueron: 1) evaluar la riqueza y abundancia del fitoplancton y su comportamiento

asociado a las variables fisicoquímicas en la zona litoral del departamento del Atlántico y 2) determinar el estado ecológico de estos ecosistemas acuáticos.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

Esta investigación fue desarrollada en la zona costera del departamento del Atlántico, en jurisdicción con los municipios de Piojó, Tubará, Puerto Colombia, Juan de Acosta, Luruaco, Soledad, Galapa y el Distrito Especial (Industrial y Portuario) de Barranquilla y la zona de influencia de la Ciénaga de Astilleros. Fueron realizados dos monitoreos en el 2013, en los puntos identificados; Astilleros (AS), Santa Verónica (SV), Puerto Velero (PV), Puerto Colombia (PC) y Mallorquín (MA). En cada zona se establecieron tres estaciones de muestreo, ubicadas en línea recta desde la parte cercana a la costa a la más lejana, con distancia entre estaciones de 5 km (figura 1), esto teniendo en cuenta la logística del equipo y accesibilidad.

### Variables fisicoquímicas

En cada estación se realizaron mediciones in situ de variables fisicoquímicas como pH (PH meter-WTW-3210), oxígeno disuelto ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) (Oximeter -WTW- 3205), transparencia Secchi (cm) (Disco Secchi), salinidad (ppm) (Oximeter -WTW- 3205), temperatura superficial del agua y temperatura ambiente ( $^{\circ}\text{C}$ ) (PH meter - WTW -3210). Se siguió la metodología recomendada por la APHA (2012).

### Clorofila-a (Cl-a)

Para la toma de las muestras de Cl-a, en cada estación se recolectaron 500 mL de agua en botellas ámbar, las cuales se almacenaron en total oscuridad, y fueron refrigeradas y transportadas al laboratorio para su posterior análisis (APHA, 2005; Blanco *et al.*, 2020; De la Parra-Guerra y García-Alzate, 2019). Una vez en el laboratorio, se realizó un filtrado al vacío, con un filtro de fibra de vidrio con permeabilidad de grado "C" de 47 mm de diámetro. El proceso de extracción de pigmentos se llevó a cabo mediante maceración mecánica de los filtros por un triturador de tejidos vegetales o aparato de sonicación, en tubos de ensayos de 5 mL con solución de acetona (% de la acetona). El montaje se mantuvo a  $4^{\circ}\text{C}$  durante 24 h y luego se centrifugó durante 15 min a 3,000 rpm, para finalizar la extracción. La concentración de Cl-a fue determinada con ayuda de un espectrofotómetro de referencia T80+UV/VIS Spectrometer PG Instruments. Posteriormente, se midió la absorbancia con diferentes longitudes de onda (750, 664, 647 y 630 nm). Todo el proceso se realizó con luz tenue para proteger

las muestras de interferencia. La ecuación utilizada para calcular la CI-a fue:  $CI_a(\mu\text{g} / \text{L}) = A \cdot K (664a - 666d) V_{\text{Acet}} / v_f \cdot t$  donde: 664a Absorción antes de la acidificación, 666d Absorción después de

la acidificación,  $V_{\text{Acet}}$  Volumen de acetona usado en la extracción, en mL,  $v_f$  Volumen de agua filtrada, en L,  $t$  Trayecto óptico de la celda, igual a 1 cm.

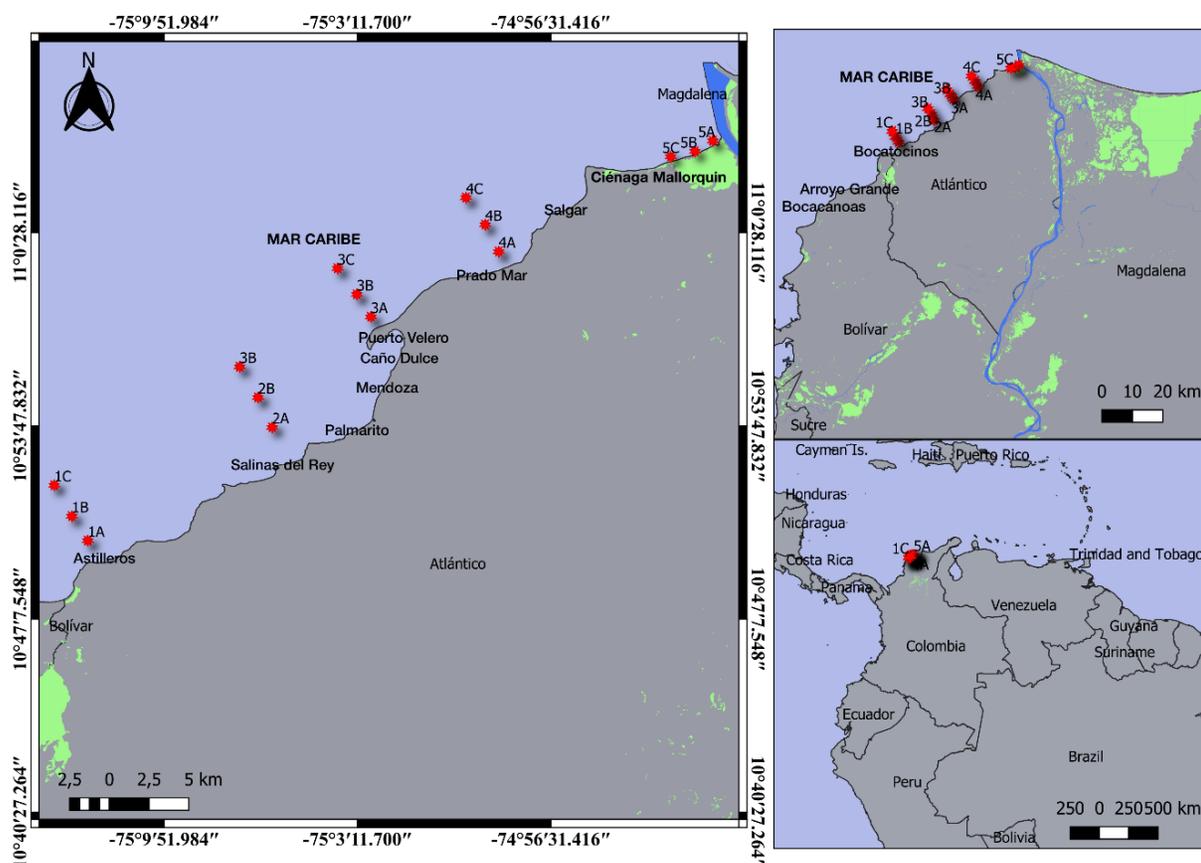


Figura 1. Área de estudio, se indican las estaciones de muestreo en la zona costera del departamento del Atlántico.

### Fitoplancton

En cada estación se realizó un filtrado en pasivo de agua superficial de 24 L (volumen conocido), empleando un tambor cónico con una malla de diámetro de poro de 24  $\mu\text{m}$ , las muestras filtradas se almacenaron en frascos de 50 mL, fijados con formalina al 4% y lugol, para teñir las estructuras morfológicas de los grupos algales (Blanco et al., 2020). Las muestras recolectadas fueron rotuladas con los datos de campo (lugar, fecha, estación y hora) y transportadas al laboratorio-Museo Colecciones Biológicas UARC-135 de la Universidad del Atlántico para posterior identificación. Los individuos de fitoplancton fueron cuantificados por el método conteo en una alícuota (microtransecto) de la muestra, el cual consistió en tomar una alícuota de volumen conocido, con una pipeta de precisión, colocarla entre el portaobjeto y el cubreobjetos, posteriormente contar la totalidad de los individuos (Lackey, 1938; Blanco et al., 2020). La identificación taxonómica fue realizada mediante observación directa de un microscopio

óptico (Leica DIMIN), en diferentes aumentos y con ayudas de claves taxonómicas y material iconográfico disponible (Parra et al., 1982; Round et al., 1990; Chrétiennot-Dinet et al., 1993; Wehr y Sheath, 2003; Vidal, 2010; Moreno et al., 2012; Wehr et al., 2015). Para la cuantificación de los individuos se utilizó la fórmula propuesta por APHA (2005):

$$N^{\circ}/\text{mL} = (C \cdot TA) / (A \cdot S \cdot V)$$

Dónde: TA= área del cubreobjetos en  $\text{mm}^2$ , A= área de una hilera en  $\text{mm}^2$ , S= número de hileras contadas, C= número de organismos contados y V= Volumen de la muestra bajo el cubreobjetos.

### Análisis de datos

A los datos fisicoquímicos, se les aplicó estadística descriptiva, para organizar y describir los datos obtenidos, teniendo en cuenta épocas y estaciones de monitoreo. Se realizó un test de normalidad de Shapiro-Wilk ( $N < 30$ ) para verificar el comportamiento de los datos. Para estimar diferencias

significativas entre los muestreos por cada variable (físicoquímicas y biológicas) se aplicó una prueba de Kruskal-Wallis con un nivel de significancia del 5 %. Se determinó la riqueza (S) del fitoplancton. Se aplicaron el índice de diversidad de Shannon (H') y uniformidad de Pielou (J). Se realizó un clúster de similitud usando el índice de Jaccard, para determinar cuán parecidas fueron las estaciones y los muestreos basados en la composición del fitoplancton. Para asociar las variables físicoquímicas con la composición de fitoplancton se realizó un análisis de correspondencia canónica (ACC), que permitió identificar las variables que más afectaron la abundancia de fitoplancton, las especies con baja abundancia <10 mg/L no fueron incluidas, así como aquellas variables que mostraron colinealidad (>10) al aplicar una prueba FIV (factor de inflación de la varianza). Estos análisis fueron realizados con ayuda de PAST 4.1 (Hammer *et al.*, 2013) y R (R Core Team, 2013).

Tabla 1. Valores promedio y desviación estándar de las variables físicoquímicas tomadas en la zona litoral del departamento del Atlántico.

Variables	Astilleros	Santa Verónica	Puerto Velero	Puerto Colombia	Mallorquín
Profundidad Secchi (cm)	2,9 ± 1,8	4,5 ± 1,8	3,3 ± 1,5	4,3 ± 1,5	2,9 ± 0,7
pH	8,0 ± 0,0	8,1 ± 0,0	8,1 ± 0,0	8,1 ± 0,1	8,2 ± 0,4
O <sub>2</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	4,0 ± 0,1	3,6 ± 0,1	3,3 ± 0,2	3,9 ± 0,0	4,0 ± 0,5
Salinidad (ppm)	40,3 ± 0,6	40,0 ± 0,0	40,0 ± 0,0	37,7 ± 2,3	32,0 ± 10,4
Densidad	1,0 ± 0,0	1,0 ± 0,0	1,0 ± 0,0	1,0 ± 0,0	1,0 ± 0,0
T° Agua (°C)	29,1 ± 1,0	30,0 ± 0,2	29,4 ± 0,4	29,3 ± 0,3	27,9 ± 2,5
T° Ambiente (°C)	29,2 ± 0,3	31,0 ± 0,0	30,2 ± 0,4	28,0 ± 0,0	28,0 ± 0,0
Clorofila- <i>a</i> (mg.m <sup>-3</sup> )	0,2 ± 0,0	0,2 ± 0,1	0,2 ± 0,1	0,3 ± 0,0	0,7 ± 0,4

### Clorofila-*a*

La concentración de Cl-*a* en la línea costera del departamento del Atlántico, se presentan en la figura 2. Con datos medios y error estándar de: 0,2 ± 0,0 mg.m<sup>-3</sup>. Se observa que los mayores valores (1,0 mg.m<sup>-3</sup>), fue en la zona de MA y los menores valores fueron hallados en las estaciones de AS y PV.

### Fitoplancton

Se identificó un total de 560 Cél.mL<sup>-1</sup> en 47 especies y cinco clases (tabla 2). Las Bacillariophyceae, se caracterizaron por ser las más ricas y abundantes, seguidas por las Dinophyceae, Cyanophyceae, Euglenophyceae y Chlorophyceae con un integrante del género *Trachelomonas*. Con respecto a la riqueza por sitio, el punto 1C presentó nueve de las especies recolectadas, seguido por el punto 2B con ocho especies. Sin

## Resultados

### Físicoquímicos

En general, la transparencia Secchi presentó un promedio de 2,9 cm en AS; 4,0 cm en SV; 3,3 cm en PV y 2,9 cm en MA. El potencial de hidrogeno (pH) fue básico en todas las estaciones con valores medios entre 8,0 a 8,2 respectivamente. El oxígeno disuelto, variable asociada con la calidad del agua, mostró valores bajos (4,0; 3,6; 3,3; 3,9 y 4,0 mg.L<sup>-1</sup>) en las estaciones AS, SV, PV, PC y MA, respectivamente. El máximo valor fue en AS con 5,0 mg.L<sup>-1</sup> y el menor valor 3 mg.L<sup>-1</sup> en la línea de costa de PV. La salinidad estuvo presentó un promedio de 40,3 ± 0,6 ppm, con disminución del 20 % de las concentraciones típicas del agua marina y, por último, la temperatura del agua tuvo valores promedios de 29,1; 30; 29,4; 29,3 y 27,9 °C en AS, SV; PV, PC y MA, respectivamente (tabla 1)

embargo, el punto 5A y 5B presentaron la mayor abundancia con 196 Cél.mL<sup>-1</sup> y 112 Cél.mL<sup>-1</sup> respectivamente, entre las que se destacan *Chaetoceros* sp. (83 Cél.mL<sup>-1</sup>) y *Chaetoceros lorenzianus* (64 Cél.mL<sup>-1</sup>).

La diversidad según Shannon (H') indicó que los sitios más diversos fueron 5A, 5B, y 5C, las menos diversas 1A, 3C y 4C con una especie. Con respecto al índice de uniformidad de Pielou (J'), las estaciones 1B, 2B, 3B y 4B obtuvieron los valores más altos (1), ya que el valor de la riqueza fue igual al de las abundancias, es decir todas las especies estaban representados por un individuo (anexo 1). El análisis de Jaccard mostró una similitud mayor del 80 % entre las estaciones 5A, 5B, 5C, que además resultaron ser las más diversas. Las demás estaciones tuvieron una similitud menor al 50 %, lo que indica que la composición en cada una de ellas fue diferente (figura 3).

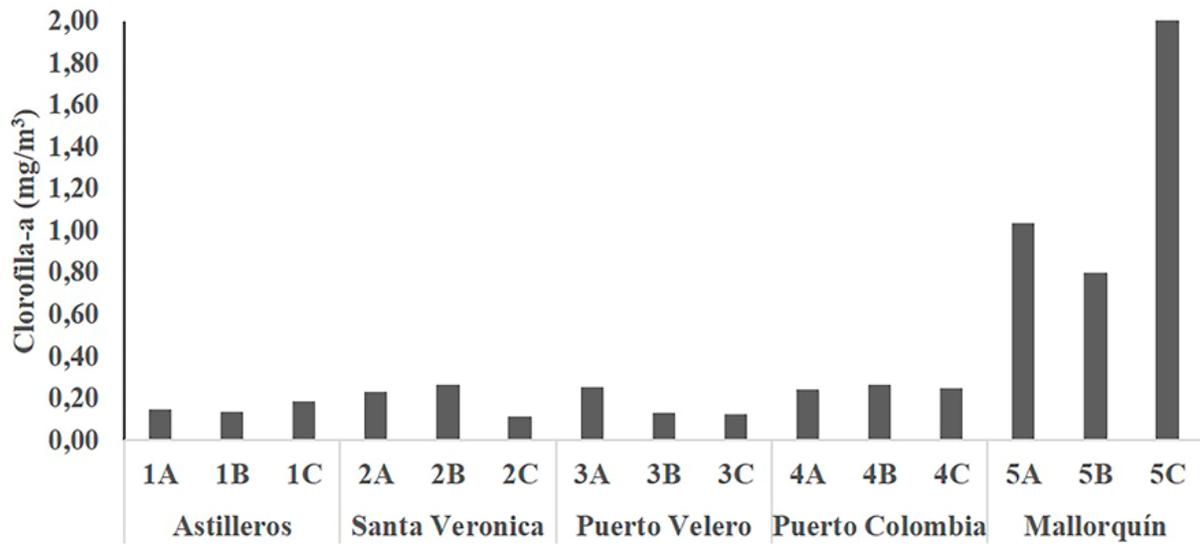


Figura 2. Valores de Cl-a en  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  registrados en la zona costera del departamento del Atlántico.

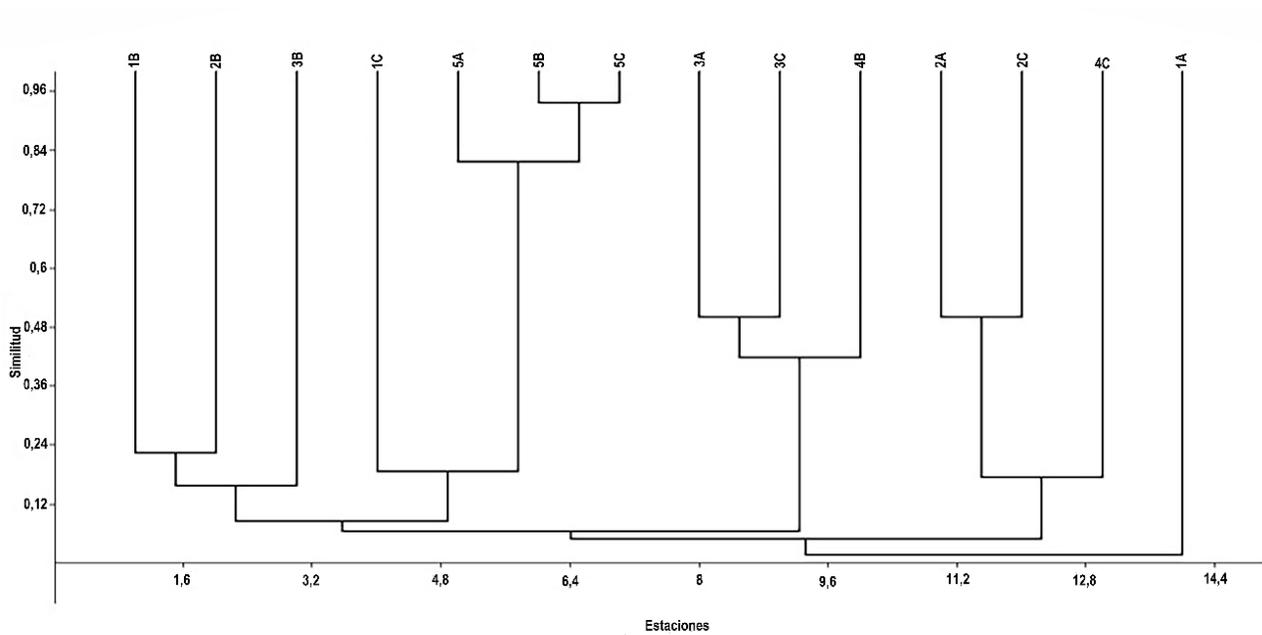


Figura 3. Análisis de similitud de Jaccard para las estaciones de muestreo basado en las abundancias.

Fitoplancton de la zona litoral del departamento del Atlántico, Colombia

Tabla 2. Abundancia de las especies presentes en las estaciones de muestreos. Din: Dinophyceae; Cya: Cyanophyceae; Bac: Bacillariophyceae; Chl: Chlorophyceae; Eug: Euglenophyceae.

División	Especies	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C	4A	4B	4C	5A	5B	5C
Dinophyceae	<i>Porocentrum micans</i>	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Dinophysis</i> sp.1	0	0	0	0	0	0	3	2	3	0	0	0	0	0	0
	<i>Dinophysis caudata</i>	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Prorocentrum lima</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	2	0	0	0
	<i>Protoperdinium steidingerae</i>	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Scrippsiella</i> sp.	0	0	1	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Scrippsiella spinifera</i>	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Scrippsiella trochoidea</i>	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Oxytoxum</i> cf. <i>sceptrum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	<i>Alexandrium</i> cf. <i>minutum</i>	0	0	0	13	9	6	0	0	0	0	0	0	4	1	2
Cyanophyceae	<i>Anabaena</i> sp.	0	0	0	0	0	0	2	4	2	1	0	1	0	1	0
	<i>Oscillatoria</i> sp.	1	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Oscillatoria tenuis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1
Bacillariophyceae	<i>Skeletonema costatum</i>	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Diploneis bombus</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Chaetoceros</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	24	18
	<i>Chaetoceros constrictus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	4	4
	<i>Chaetoceros curvisetus</i>	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	4	1	0
	<i>Chaetoceros diversus</i>	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Chaetoceros distans</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	5	2	2
	<i>Chaetoceros coartatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	<i>Chaetoceros peruvianus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1	1
	<i>Chaetoceros affinis</i>	0	0	1	0	0	0	2	1	0	0	0	0	6	2	6
	<i>Chaetoceros similis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	4	2
	<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	22	10
	<i>Skeletonema costatum</i>	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	23	12	10
	<i>Coscinodiscus granii</i>	0	1	0	5	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Diploneis weissflogi</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Gyrosigma</i> cf. <i>balticum</i>	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Nitzschia longissima</i>	0	0	3	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	

Continuación tabla 2.

<b>Especies</b>	<b>1A</b>	<b>1B</b>	<b>1C</b>	<b>2A</b>	<b>2B</b>	<b>2C</b>	<b>3A</b>	<b>3B</b>	<b>3C</b>	<b>4A</b>	<b>4B</b>	<b>4C</b>	<b>5A</b>	<b>5B</b>	<b>5C</b>
<i>Thalassiosira decipiens</i>	0	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	4	6
<i>Thalassionema elegans</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	2
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Navicula digitoradiata</i>	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Bacteriastrium comosum</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
<i>Pseudonitzschia pungens</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	8	10
<i>Navicula</i> sp.	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Navicula yarrensis</i>	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Detonula pumila</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Odontella</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	2
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	4
<i>Guinardia flaccida</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	19	10	6
<i>Rhizosolenia pungens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	5	4
Chlorophyceae <i>Pelagococcus subviridis</i>	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Euglenophyceae <i>Trachelomona</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	2
<i>Trachelomona oblonga</i>	0	2	0	0	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0
Riqueza	3	7	9	7	8	3	1	3	2	2	3	2	4	5	3
Abundancia (Cél.mL <sup>-1</sup> )	3	9	32	33	17	17	10	11	7	4	7	4	196	112	93

El análisis de componentes principales entre las estaciones y especies analizadas (figura 4a) mostró el mayor porcentaje de varianza (88,8 %) para el eje uno. Casi todos los sitios de la estación cinco (5A, 5B y 5C) están caracterizados por las especies *Pseudo-nitzschia pungens*, *Guinardia flaccida*, *Skeletonema costatum* y *Rhizosolenia pungens*. Esto es diferente a lo encontrado entre estaciones y las variables fisicoquímicas, donde la mayor explicación estuvo dada por el eje uno con una varianza de 99,1 % (figura 4b). Aquí se puede evidenciar que la salinidad explica la mayor variación de los datos. Por su parte, los sitios 2A, 4A, 5C y 5A estuvieron influenciados positivamente

por las variables temperatura del agua y ambiente.

Con respecto al análisis de correspondencia canónica, solo las estaciones 5A, 5B y 5C reflejaron influencia positiva de las variables fisicoquímicas (anexo 2), lo que sucede de manera contraria en las demás estaciones. Además, se forman dos grupos de algas: el primero caracteriza las estaciones 1 a 4 y sus réplicas, con los géneros *Chaetoceros* (especies tonificantes que se pueden ver en el anexo 2) y *Navicula*, el segundo corresponde a la estación 5, con los géneros *Chaetoceros* (especies tonificantes que se pueden ver en el anexo 2, *Odontella* y *Thalassionema*.

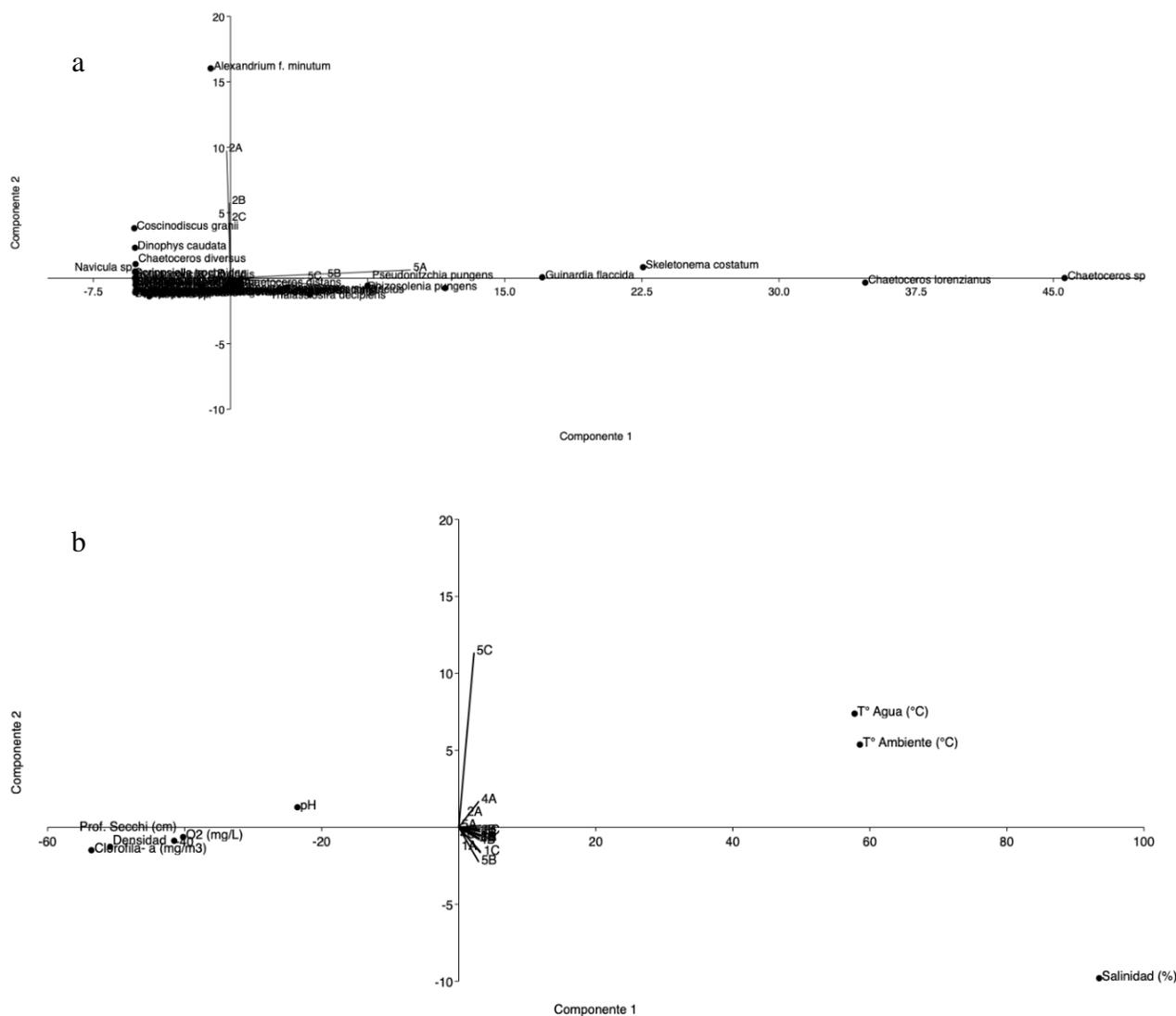


Figura 4. Análisis de componentes principales para: a) estaciones y especies; y b) para estaciones y parámetros fisicoquímicos.

## Discusión

Los valores obtenidos para las variables fisicoquímicas a través de medición en la ciénaga de Puerto Caimán evidencian una variación temporal. Esta zona marino-costera registró una transparencia del agua de  $2,9 \pm 1,8$  cm, lo cual permite identificar cuál es la zona fótica o de influencia de luz visible de la columna del agua y definir la franja de agua con potencial productivo (Roldán y Ramírez, 2008; Rivera y Donato, 2008). Las estaciones más cercanas a la orilla presentaron mayor turbidez, condición natural de las aguas de mar, donde las zonas más próximas a las costas presentan gran cantidad de sólidos suspendidos por efectos de los vertimientos y de los afluentes continentales, así como por la acción de las corrientes que generan resuspensión de los sedimentos en los lugares de menor profundidad (Brenes *et al.*, 2007; May-Kú *et al.*, 2016). Las aguas con menor transparencia correspondieron a las estaciones de Mallorquín, donde, además de la circulación de las aguas del estuario por la boca de barra, se suman las aguas provenientes del río Magdalena. Por lo tanto, los datos son relevantes para una zona de costa impactada por un río de la dimensión del Magdalena (Tejeda-Benítez *et al.*, 2016). Con los datos de pH, se puede demostrar que la salinidad ejerce un efecto temporizador sobre los afluentes o vertimientos con cargas de materia orgánica que modifican esta variable. Además, se observó que las aguas dulces y los vertimientos son de pH ácidos (Trujillo y Guerrero, 2015).

Los valores de oxígeno disuelto en la zona costera fueron bajos, probablemente asociados a la turbidez, que limita la realización de los procesos de la fotosíntesis en la zona superficial del agua. Estos resultados también se explican con el aporte de nutrientes y materia orgánica, que en ocasiones pueden inhibir los procesos metabólicos de los organismos fotosintéticos (Brenes *et al.*, 2007; González *et al.*, 2008). El máximo valor de este parámetro se obtuvo en AS ( $5,0 \text{ mg.L}^{-1}$ ), y el menor, en la línea de costa de PV ( $3 \text{ mg.L}^{-1}$ ), lo que indica la posible influencia de algún vertimiento de importancia para el sistema.

La salinidad es una medida de la concentración de sales disueltas en el agua, importante por la concentración de cloruro de sodio (Roldán y Ramírez, 2008). Para las estaciones, esta variable se registró con porcentajes promedio entre 40 y 32 ppm, con una disminución de 20 ppm de las concentraciones típicas del agua marina en la estación más cercana a la desembocadura del río Magdalena. Estos valores promedios (40 ppm) son consistentes con aguas expuestas a altos procesos de evaporación por la intensidad de radiación incidente.

Por último, la temperatura del agua sirvió para identificar que las aguas corresponden a aguas marinas mezcladas con aguas continentales cálidas (promedio:  $29,1 \pm 1,0$  °C). Por lo tanto, no se presentan para la época efectos de corrientes de aguas marinas oceánicas, no hubo variación espacial significativa y no se evidenciaron vertimientos calientes o fríos sobre esta línea de costa.

Adicionalmente, la Cl-*a* no superó los  $1,20 \text{ mg.m}^{-3}$ , lo que evidencia el bajo perfil de producción primaria en sistema. Sin embargo, la comunidad de fitoplancton fue variable, lo cual puede estar asociado con aguas que son evacuadas desde la Ciénaga de Mallorquín, ecosistema que corresponde a un estuario o humedal altamente productivo. Por tal razón, a medida que se aleja a la línea de costa, la concentración de Cl-*a* disminuye a valores similares a los registrados en el resto del litoral (Rivera y Donato, 2008).

Los registros de Cl-*a* en el ecosistema ratifican la poca productividad primaria que se relaciona con los valores de pH. Estos últimos desfavorecen los procesos de productividad y se encuentran asociados a la estrecha franja de agua donde la luz puede alcanzar las poblaciones de algas que constituyen el fitoplancton de este sector del Caribe colombiano. Así pues, se obtienen hallazgos similares a los que muestran otros trabajos para sectores donde desembocan los ríos (Rivera y Donato, 2008; Roldán y Ramírez, 2008; Blanco-Muñoz *et al.*, 2020).

Respecto a las comunidades del fitoplancton halladas en este estudio, *Chaetoceros* cuenta con el mayor número de representantes dentro de las diatomeas marinas. Común en los ecosistemas marinos de todo el mundo, con solo pocas especies en ecosistemas continentales o estuarinos, este género se encuentra más que todo en estas zonas por poseer una característica morfológica llamada chetas, que le permite "luchar" contra la acción del oleaje y, por ende, mantenerse en las capas superficiales de la columna de agua. En total, son más de 400 especies difíciles de diferenciar, pese a los numerosos esfuerzos e intentos por organizar la taxonomía de este género. Además, junto con *Coscinodiscus* y *Thalassiosira*, son considerados los géneros planctónicos marinos con mayor diversidad de especies y amplia distribución (Rines y Hargraves, 1990; Jensen y Moestrup, 1998). Estos organismos presentan una mayor absorción de nutrientes en sistemas turbulentos y dominan en ambientes enriquecidos, con disponibilidad de luz y turbulencia (Kjørboe, 1993). Dentro del género *Chaetoceros* la especie más representativa fue *C. lorenzianus*, con  $64 \text{ cél.mL}^{-1}$ . Esta se asocia con floraciones nocivas relacionadas con

la mortalidad en masa de anchoas en el golfo de Nicoya, en Costa Rica (Vargas-Montero y Freer, 2004<sup>a</sup>, b).

Todos los criterios mencionados anteriormente permiten tener una visión holística de cómo se encuentra la zona litoral (específicamente, los puntos del departamento del Atlántico evaluados en este estudio) y acercarse a las posibles causas de su deterioro o alteraciones. En tal sentido, es necesario desarrollar planes de mejora ambiental en estas zonas del litoral marino-costero que integren medidas como jornadas de recolección de basuras y desechos de origen antropogénico, delimitación del espacio hídrico desde la funcionalidad ecológica y la sostenibilidad ambiental, ordenar el uso del suelo de riberas, especificando las actividades que sean compatibles con la conservación de sistemas acuáticos y del sitio en general y, por último, diseñar sistemas de manejo, tratamiento y disposición final adecuada de residuos sólidos de las comunidades aledañas (Morales y García-Alzate, 2016), el comercio y los provenientes de la actividad turística.

### Agradecimientos

En memoria al profesor e investigador Luis Carlos Gutiérrez Moreno. Al programa de Biología y al Grupo de Investigación Biodiversidad del Caribe Colombiano y Estudios en Sistemática y Conservación. A Colciencias (Convocatoria N.º 727 de 2015; Res. 513, julio de 2015, otorgada a Ana De la Parra Guerra).

### Referencias

APHA, AWWA, WEF. 2012. *Standard Methods for examination of water and wastewater*. 22nd ed. American Public Health Association, Washington D.C.

APHA, 2005. *Standard Methods of Water and Wastewater*. 21st Edn., American Public Health Association, Washington, D.C.

Blanco-Muñoz, E., De la Parra-Guerra, A., García-Alzate, C. y Villarreal-Blanco, E. 2020. Análisis físico-químico y fitoplanctónico de la ciénaga Puerto Caimán, vertiente Caribe, Colombia. *Intropica* 15(2): 114-125. Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.3650>.

Brenes, C.L., Ballesteros, D. y Hernández, A. 2007. Estructura hidrográfica de la Bahía de Bluefields, Nicaragua. *Revista de Ciencia y Tecnología* 25(1 y 2). 57-66

Chrétiennot- Dinet, M., Sournia, A., Ricard, M. y Billard, C. 1993. A classification of the marine phytoplankton of the world from class to genus. *Phycologia* 32: 159-179. Doi:

<https://doi.org/10.2216/i0031-8884-32-3-159.1>.

De la Parra-Guerra, A.C. y García-Alzate, C. 2019. Metabolismo de un tramo en la cuenca baja del río Cesar, departamento del Cesar, en una época de sequía, Colombia. *Intropica* 14(1): 16-23. Doi: <http://dx.doi.org/10.21676/23897864.2719>.

González, J.A., Céspedes, J.G., Ramírez, E.G., Zamora, J.A. y Cortés, J. 2008. Parámetros físico-químicos en aguas costeras de la Isla del Coco, Costa Rica (2001-2007). *Revista de Biología Tropical* 56(2): 49-56

Hammer, Ø. 2013. PAST Paleontological Statistics Version 3.0: Hennemann, M.C. y Petrucio, M.M. 2011. Spatial y temporal dynamic of trophic relevant parameters in a subtropical coastal lagoon in Brazil. *Environmental Monitoring y Assessment* 181: 347-361. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1833-5>.

Jensen, K. y Moestrup, Ø. 1998. Waters. *Opera Botanica* 133: 1-68.

Kjørboe, T. 1993. *Turbulence, phytoplankton cell size, and the structure of pelagic food webs. In advances in marine biology*. Academic Press. San Diego.

Kshirsagar A.D. 2013. Bioremediation of wastewater by using microalgae: an experimental study. *International Journal of Life Science Biotechnology and Pharma Research* 2(3): 339-346.

Lackey, J.B. 1938. The manipulation and counting of river plankton and changes in some organisms due to formalin preservation. *Public Health Reports (1896-1970)* 2080-2093. Doi: <https://doi.org/10.2307/4582717>.

Lambert, W. y Sommer, U. 1997. *Limnoecology: The ecology of lakes and streams*. Oxford University Press. Oxford.

May-Kú, M.A., Valdés-Lozano, D. y Ardisson, P.L. 2016. Variación espacial y temporal de las características fisicoquímicas del agua y sedimento en la laguna costera Yalahau, Quintana Roo. *Hidrobiológica* 26 (1): 41-51. Doi: <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2016v26n1/May>.

Morales, J. y García-Alzate, C. A. 2016. Estructura trófica de los peces en arroyos del Corral de San Luis, cuenca del Bajo Magdalena, Caribe, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 64(2): 715-732.

Moreno, J.R., Medina, C.D. y Albarracín, V.H. 2012. Aspectos ecológicos y metodológicos del muestreo, identificación y cuantificación de cianobacterias y microalgas eucariotas. *REDUCA (Biología)* 5: 110-125.

- Parra, O., Rivera, P., González, M., Dellarossa, V. y Orellana, M. 1982. *Manual Taxonómico del fitoplancton de aguas continentales. Bacillariophyceae*. Chile: Universidad de Concepción, Concepción.
- Pereira, P., De Pablo, H., Vale, C., Franco, V. y Nogueira, M. 2009. Spatial y seasonal variation of water quality in an impacted coastal lagoon (Óbidos Lagoon, Portugal). *Environmental Monitoring y Assessment* 153: 281-292. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0355-x>.
- R Core Team 2013. R: A *Language and Environment for Statistical Computing*.
- Roldán, G. y Ramírez, J. 2008. *Fundamentos de limnología Neotropical*. Segunda Edición. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín.
- Rines, J.E. y Hargraves, P.E. 1990. Morphology and taxonomy of *Chaetoceros compressus* Lauder var. *hirtisetus* var. nova, with preliminary consideration of closely related taxa. *Diatom Research* 5: 113-127.
- Rivera, C. y Donato, J. 2008. Influencia de las variaciones hidrológicas y químicas sobre la diversidad de diatomeas bénticas. Donato, J. Editor. *Ecología de un río de montaña de los Andes Colombianos (Río Tota, Boyacá)*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.
- Round, F.E., Crawford, R.M. y Mann, D.G. 1990. *Diatoms: Biology and Morphology of the Genera*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Santillán-Aredo, S.R. y Guerrero-Padilla, A.M. 2018. Macroinvertebrados y fitoplancton como bioindicadores de contaminación en la cuenca del río Chicama, Perú. *Revista Tecnología en Marcha* 31(4): 97-110. Doi: <https://doi.org/10.18845/tm.v31i4.3968>.
- Tejeda-Benítez, L., Flegal, R., Odigie, K. y Olivero-Verbel, J. 2016. Pollution by metals and toxicity assessment using *Caenorhabditis elegans* in sediments from the Magdalena River, Colombia. *Environmental Pollution* 212: 238-250. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.01.057>.
- Trujillo, G. y Guerrero, A. 2015. Caracterización físico-química y bacteriológica del agua marina en la zona litoral costera de Huanchaco y Huanchaquito, Trujillo, Perú. *ReBla*/35(1): 23-33.
- Vargas-Montero, M. y Freer, E. 2004a. Paralytic shellfish poisoning outbreaks in Costa Rica. In: Steidinger K.A., Landsberg, J.H., Tomas C.R., y Vargo, G.A. Editor. *Harmful Algae 2002*. Florida Fish and Wildlife Conservation Commission, Florida Institute of Oceanography, and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Paris.
- Vargas-Montero, M. y Freer, E. 2004b. Proliferaciones algales de la diatomea toxigénica *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyceae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 52(Suppl. 1): 127-132.
- Vélez-Azañero, A., Lozano, S. y Cáceres-Torres, K. 2016. Diversidad de fitoplancton como indicador de calidad de agua en la cuenca baja del río Lurín, Lima, Perú. *Ecología aplicada* 15(2): 69-79. Doi: <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v15i2.745>.
- Vidal, L. 2010. Manual de Fitoplancton hallado en la Ciénaga Grande de Santa Marta y Cuerpos de Agua Aledaños. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería. Bogotá D.C.
- Wan-Maznah, W.O. 2010. Perspectives on the use of algae as biological indicators for monitoring and protecting aquatic environments, with special reference to Malaysian freshwater ecosystems. *Tropical Life Sciences Research* 21(2): 51-67.
- Wehr, J. y Sheath, R. 2003. Freshwater habitats of algae. En: Wehr, J. y Sheath, R. Editors *Freshwater Algae of North America*. Academic Press, San Diego.
- Wehr, J.D., Sheath, R.G. y Kociolek, J.P. 2015. *Freshwater Algae of North America: Ecology and Classification*. Academic Press, San Diego.