

Variación temporal de la composición y abundancia del fitoplancton en Ciénaga Honda, Cartagena, Colombia

Temporal variation of the phytoplankton composition and abundance in Ciénaga Honda, Cartagena, Colombia

Martha Jeannette Torres-V¹ , Alejandro Henao-Castro²  y Laura Contreras-Vega^{*2} 

1. Grupo de Investigación GIBEAM, Biología Marina, Universidad del Sinú, Cartagena, Colombia

Grupo de Investigación de Biología descriptiva y aplicada, Programa de Biología, Universidad de Cartagena, Cartagena, Colombia

*Autor de correspondencia: lcontrerasv@unicartagena.edu.co

Recibido: 14 de mayo de 2021

Aceptado: 27 de julio de 2021

Publicación en línea: xxxx

Resumen

Palabras clave:
Bahía de Cartagena;
Ciénaga Honda; estuario;
fitoplancton

El fitoplancton es un grupo de organismos unicelulares fotosintetizadores que constituyen la base de las redes tróficas en todos los ecosistemas acuáticos y que, debido a su alta sensibilidad, pueden considerarse como bioindicadores de la calidad del agua. Con base a lo anterior, el propósito de esta investigación fue determinar posibles variaciones en la comunidad fitoplanctónica de Ciénaga Honda, Cartagena, durante un periodo de un año. Para esto, se realizaron muestreos en tres estaciones entre marzo y diciembre 2018, utilizando una red de 35 μm , con la que se filtraron 40 L de agua superficial. Las muestras se fijaron con formalina al 4 %. Adicionalmente, se registraron datos de temperatura (ambiente y del agua), salinidad, pH, oxígeno disuelto y velocidad del viento. Las muestras fueron sedimentadas durante 72 h, y se centrifugaron a 3000 rpm. La identificación taxonómica de los individuos se realizó hasta la categoría taxonómica más baja posible, y la densidad se expresó en $\text{cél}/\text{mL}$. Se identificaron cinco phyla: Chlorophyta, Ochrophyta, Cyanophyta, Dinophyta y Euglenophyta. Las diatomeas (Ochrophyta) fueron las más representativas, seguidas de dinoflagelados. En cuanto a las condiciones ambientales, se evidenciaron variaciones significativas entre las épocas de muestreo, específicamente de temperatura ambiente, salinidad y velocidad del viento. También se encontró que la salinidad fue una variable importante en las muestras recolectadas en septiembre, mientras que, para marzo, mayo y diciembre, incidieron la temperatura del agua y la velocidad del viento. La mayor presencia de células fitoplanctónicas se reportó durante los muestreos marzo y mayo de 2018, probablemente relacionados con la época climática debido a que hay menor entrada de agua continental y sedimentos, lo que favorece la penetración de luz y la fotosíntesis. La presente investigación complementa la información existente sobre fitoplancton en la Ciénaga Honda y, por lo tanto, de la bahía de Cartagena.

Abstract

Key words:
Cartagena Bay;
Ciénaga Honda;
estuary; phytoplankton

Phytoplankton is a group of photosynthesizing unicellular organisms that constitute the basis of the trophic networks in all aquatic ecosystems and due to their high sensitivity, they can be considered as bioindicators of water quality. Hence, the purpose of this research was to determine the possible variations in the phytoplankton community of Ciénaga Honda, Cartagena, Colombia, during a one year period. Samplings were carried out in three stations from March to December 2018, using a 35 μm network, with which 40 L of surface water were filtered, and the samples were fixed with 4 % formalin. Additionally, data on temperature (ambient and water), salinity, pH, dissolved oxygen and wind speed were recorded. The samples were sedimented for 72 h, and then centrifuged at 3000 rpm. The taxonomic identification of the individuals was carried out up to the lowest possible taxonomic category, and the density was expressed in Cel/mL . Five phyla were identified: Chlorophyta, Ochrophyta, Cyanophyta, Dinophyta and Euglenophyta. Diatoms (Ochrophyta) were the most representative, followed by dinoflagellates. Regarding the abiotic parameters, significant variations between the sampling times were evidenced, specifically of the ambient temperature, salinity and wind speed. Additionally, it was found that salinity turned out to be an important variable in the samples collected in September, while, for March, May and December, it was the water temperature and the wind speed. The greatest presence of phytoplankton cells was reported for March and May, probably related to the climatic season, due to the fact that there is less entry of continental water and sediments, which favor the penetration of light and photosynthesis. This research complements the existing information on phytoplankton in Ciénaga Honda and, therefore, in the Bay of Cartagena.



Introducción

El fitoplancton se define como un grupo de organismos unicelulares acuáticos, los cuales se encuentran suspendidos en el agua y que, mediante corrientes, son transportados de manera pasiva. Algunas especies presentan una amplia distribución, aunque otras prefieren ambientes determinados (Báez-Polo, 2013). Estos microorganismos son los responsables de transformar la materia inorgánica en componentes orgánicos empleando la energía lumínica proveniente del sol mediante la fotosíntesis, constituyéndose en la base de la red trófica (Bravo-Sierra, 2004), por lo que son fundamentales para el mantenimiento de los ecosistemas acuáticos.

Debido a la alta sensibilidad que presentan estos organismos, se pueden considerar como bioindicadores de la calidad del agua (Cañón *et al.*, 2007; Báez-Polo, 2013) que, al analizarse con otros parámetros como oxígeno disuelto (OD), pH, entre otros, muestran el estado en el que se encuentra un cuerpo de agua (Pinilla *et al.*, 2010). Además, al ser organismos de gran importancia trófica, durante un ciclo anual, la composición taxonómica del fitoplancton puede cambiar debido a las variaciones ocurridas en las características fisicoquímicas y biológicas de la columna del agua, lo que a su vez genera fluctuaciones en cuanto a la abundancia total. Estas sucesiones en las comunidades fitoplanctónicas reflejan la capacidad que tienen las especies de responder a cambios estacionales en las variables fisicoquímicas de la columna de agua (disponibilidad de luz, nutrientes, velocidad del viento, entre otras) (Steel, 1976; Armi *et al.*, 2010; Báez-Polo, 2013; Gil-Aguilar *et al.*, 2013; Calvo-Trujillo *et al.*, 2015). Entre otros factores que pueden afectar tanto la densidad como la composición de especies de estas comunidades, se registran la velocidad del viento, el cual genera la resuspensión de sedimentos, el oleaje interno y las mareas suaves, y los procesos de mezcla vertical y la estratificación de la columna de agua (Guinder *et al.*, 2009; Pinilla *et al.*, 2010; Gil-Aguilar *et al.*, 2013; Calvo-Trujillo *et al.*, 2015).

En la literatura existen diversos estudios sobre fitoplancton de la bahía de Cartagena, la mayoría de ellos con un enfoque taxonómico (Arosemena *et al.*, 1973; Arias y Durán, 1984; García, 1987; Vidal y Carbonell, 1977; Gavilán *et al.*, 2005; Cañón *et al.*, 2005; Cañón *et al.*, 2007; Suárez, 2007; Osorio, 2010; Dimar-

CIOH, 2011). Sin embargo, no existen trabajos publicados referentes a este grupo de microorganismos presentes en Ciénaga Honda, por lo que conocer la composición de las microalgas planctónicas que habitan en este cuerpo de agua puede ser de utilidad para actualizar el conocimiento sobre la biodiversidad del fitoplancton existente allí, así como para registrar el estado en el que se encuentra el ecosistema. Teniendo en cuenta lo anterior, el propósito de esta investigación fue determinar las posibles variaciones en la comunidad fitoplanctónica de Ciénaga Honda, zona portuaria de gran importancia en la ciudad de Cartagena, Colombia.

Materiales y métodos

Área de estudio

Ciénaga Honda es un cuerpo de agua predominantemente estuarino, con entrada de agua dulce debido a la influencia del Canal del Dique (Castro, 1995). Esta ciénaga presenta una profundidad promedio registrada de 0,95 m y sedimento compuesto por material mixto de color claro, con cascajos y moluscos. Se encuentra ubicada a 18 km de la ciudad de Cartagena, y se puede acceder a ella por vía terrestre o marítima a través de la bahía de Cartagena o el Canal del Dique. Dentro del área se establecieron tres estaciones de muestreo, ubicadas a lo largo de la ciénaga (figura 1).

Las características climatológicas de la bahía de Cartagena están regidas por desplazamiento en sentido norte-sur de la zona de convergencia intertropical (ZCIT) en época de lluvias y por la presencia de los vientos alisios en época seca, tal como ocurre en el resto del Caribe colombiano (Franco-Herrera, 2005; Gutiérrez-Moreno *et al.*, 2012). Típicamente, la época de lluvias comprende de agosto a noviembre y presenta un aumento en las precipitaciones, mientras que la época seca se extiende desde diciembre hasta abril, y en esta el viento presenta las velocidades más altas de todo el año (Gutiérrez-Moreno *et al.*, 2012). Además, existe una tercera época climática, conocida como época de transición, comprendida entre mayo y julio, con vientos débiles, en la cual se desarrolla el “veranillo de san Juan”, caracterizado por el incremento de la temperatura ambiente, cielo despejado, aumento del brillo solar y lluvias aisladas (Franco-Herrera, 2005; Gutiérrez-Moreno *et al.*, 2012).

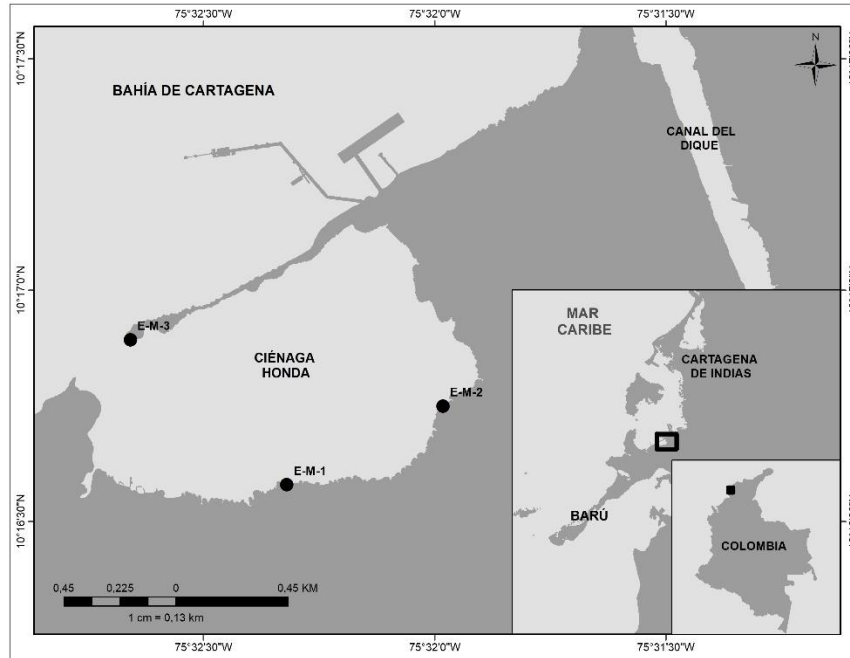


Figura 1. Área de muestreo en Ciénaga Honda. Se observa la ubicación de las tres estaciones de muestreo (E-M-1, E-M-2 y E-M-3)

Parámetros biológicos

Las muestras de fitoplancton fueron recolectadas en los meses de marzo, mayo, septiembre y diciembre de 2018 con el fin de abarcar los diferentes eventos climatológicos que se presentan en la zona de estudio a lo largo del año. El muestreo se realizó durante las horas de la mañana a nivel superficial (0,2 m de profundidad), filtrando 40 L con una red de poro de malla de 35 μ m. La fijación se efectuó inmediatamente con formalina al 4 %, con el fin de preservar el fitoplancton (Báez-Polo, 2013). Las muestras recolectadas fueron transportadas al laboratorio de la Universidad del Sinú, seccional Cartagena, debidamente almacenadas en un tiempo no mayor a una hora.

Para el procesamiento de las muestras, se empleó el método de sedimentación, dejando reposar por 72 h. Posteriormente, se centrifugaron a 3000 rpm (Ramírez, 1982; Reguera *et al.*, 2011). Para el análisis, se utilizó una cámara de conteo Neubauer y un microscopio biológico Olympus BH-2, con aumento de 400X y 1.000X. El número de células se calculó siguiendo lo descrito por Álvarez (1994) para convertirlo en número de células por mililitro según la ecuación de densidad celular:

$$Cel/mL = \frac{\sum(\text{cuatro cuadrantes de cámara Neubauer})}{4} * 10.000$$

La identificación se llevó a cabo hasta el nivel género. Para ello se utilizaron las claves taxonómicas Steidinger (1964), Bicudo y

Bicudo (1970), Prescott (1970), Bourrelly (1972), Dodge (1975), Balech (1977), Hasle y Syverstsen (1997), Vidal y Carbonell (1977), Bourrelly (1981), Corchuelo y Moreno (1983), Anagnostidis y Komarek (1986), Taylor (1987), Balech (1988), Mora, (1993), Hallegraef y Hara (2004), Vidal (2010) y Dimarcioh (2011). La sistemática se basó en la página electrónica Algaebase (Guiry y Guiry, 2017).

Parámetros fisicoquímicos

Durante la toma de muestras de fitoplancton, se realizó en paralelo la medición de parámetros fisicoquímicos. De este modo, en cada estación, para los cuatro muestreos, se obtuvieron datos de temperatura ambiente y del agua, salinidad, OD y pH con ayuda de sondas multiparamétricas (YSI-550A y Thermo-Orion StarTM). Para la velocidad del viento, se utilizó un anemómetro digital GT8907 con sensor portátil. Estos instrumentos fueron previamente calibrados según las recomendaciones del fabricante.

Análisis de datos

Comunidad fitoplanctónica

La información de composición fue recopilada en una matriz primaria de acuerdo con la clasificación taxonómica, lo que permitió valorar la composición por géneros y grupos mayores en cada estación. Consecutivamente, se estimó la densidad (cél/mL) por géneros. En ese sentido, se determinaron los

índices de diversidad de Shannon, dominancia de Simpson y uniformidad de Pielou (J') como herramientas para interpretar la relación entre el número de especies y su abundancia por época de muestreo (Ludwig y Reynolds, 1988; Ramírez, 2005).

Con el fin de comprobar la variación temporal de la composición de la comunidad fitoplanctónica en el cuerpo de agua, se aplicó un análisis de similaridad ANOSIM de una vía. Adicionalmente, se realizó un análisis de Bray-Curtis, complementado con un clúster y un escalamiento multidimensional no métrico (MDS), para observar la agrupación y la ordenación de las muestras analizadas (Digby y Kempton, 1987). Asimismo, se verificó la contribución porcentual de las especies mediante un análisis SIMPER. Todos los análisis fueron realizados a través del programa Primer V7 (Clarke y Gorley, 2015).

Parámetros fisicoquímicos

Con el fin de determinar diferencias estadísticas significativas de los parámetros fisicoquímicos entre épocas de muestreo, se aplicó la prueba estadística Kruskal-Wallis, previa comprobación de supuestos de normalidad y homocedasticidad con las pruebas Shapiro-Wilks y Levene, respectivamente, para cada parámetro (Zar, 1996). En caso de presentarse diferencias significativas, se realizó una prueba post hoc de Dunn para determinar dónde se encontraban. Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis de componentes principales (PCA) para determinar los parámetros ambientales que aportan mayor variabilidad a los datos y obtener una representación de la ordenación de las variables en relación con las épocas de muestreo. Todos estos análisis fueron ejecutados utilizando el programa estadístico Past versión 4.05 (Hammer *et al.*, 2001). Finalmente, para establecer las relaciones existentes entre los factores fisicoquímicos y la comunidad fitoplanctónica, todas las variables fueron estandarizadas para su respectivo rango de máximos y mínimos, siguiendo la metodología descrita en Guisande y Barreiro (2006). Asimismo, se aplicó una prueba de emparejamiento ambiente biota (BIOENV) por medio del programa Primer v7 (Clarke y Gorley, 2015).

Resultados

Comunidad fitoplanctónica

Se identificó un total de 30 géneros distribuidos en cinco *phyla* principales: Chlorophyta, Ochrophyta, Cyanophyta, Dinophyta y Euglenophyta. Las diatomeas (Ochrophyta) presentaron la mayor riqueza, con 16 especies, seguidas de los dinoflagelados (Dinophyta), con ocho especies (tabla 1). En cuanto a densidad,

se registró un total de 5,100,869 cél/mL. Nuevamente, sobresalen las diatomeas con 3,615,550 cél/mL, seguidas de las clorófitas (Chlorophyta) con 473,759 cél/mL (tabla 1). Las especies *Coscinodiscus* sp. y *Chaetoceros* spp. presentaron las mayores abundancias en todo el estudio (421,600 y 319,100 cél/mL, respectivamente).

Tabla 1. Riqueza y abundancia general por grupos taxonómicos. N=abundancia (cél/mL). S=riqueza (N.º de especies).

Grupo	N	S
Clorophyta	473.759	3
Ochrophyta	3.615.550	16
Cianophyta	58.000	2
Dinophyta	919.860	8
Euglenophyta	33.700	1

La estación E-M-3 registró la mayor riqueza, con 30 especies, seguida de E-M-1 y E-M-2, en las que se observaron 26 especies. Diatomeas y dinoflagelados tuvieron la mayor frecuencia, así como la mayor riqueza de especies en todas las estaciones del estudio, mientras que las cianófitas y las euglenófitas fueron exclusivas en la estación E-M-3. En términos de densidad, sobresale la estación E-M-1 con 1.811.959 cél/mL, seguida de E-M-3 (figura 2). Las diatomeas dominaron en la estación E-M-1 (1.336.170 cél/mL), siendo la especie *Chaetoceros* spp. la más abundante, con 94.000 cél/mL; por su parte, en E-M-3 predominaron los dinoflagelados (318.600 cél/mL).

Los análisis de atributos ecológicos mostraron que la estación más diversa fue E-M-3 ($H'=2,82$), que a su vez presentó los valores más altos de uniformidad ($J'=0,96$) y el menor predominio ($\lambda=0,07$). A esta le siguen E-M-2 y E-M-1, respectivamente.

Para marzo, se identificó un total de 24 especies, siendo las diatomeas el grupo con la mayor riqueza ($S=16$), seguidas de los dinoflagelados, con cinco especies. Por otro lado, se obtuvo una densidad total de 1.442.363 cél/mL. Durante este mes, la estación E-M-1 presentó la mayor densidad, con 543.480 cél/mL (figura 3a), mientras que la mayor riqueza se observó en E-M-3 (22 especies). Las diatomeas sobresalen nuevamente con la mayor densidad, especialmente en la estación E-M-1, con 426.000 cél/mL (figura 3a), siendo *Chaetoceros* spp. la especie más abundante (94.000 cél/mL). Dinoflagelados, clorófitas, cianófitas y euglenófitas estuvieron presentes en menor proporción (253.760, 39.100, 24.300 y 20.600 cél/mL, respectivamente) (figura 3a).

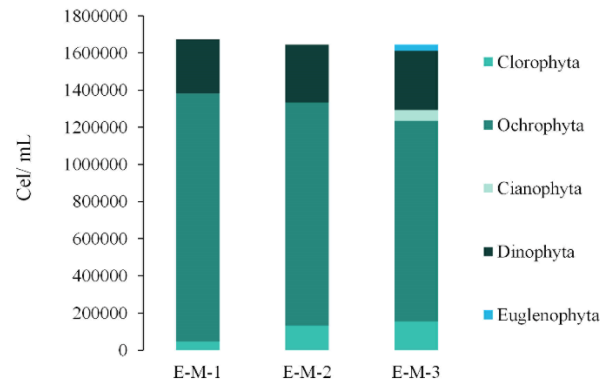


Figura 2. Densidad (cél/mL) de los grupos principales por estación de muestreo.

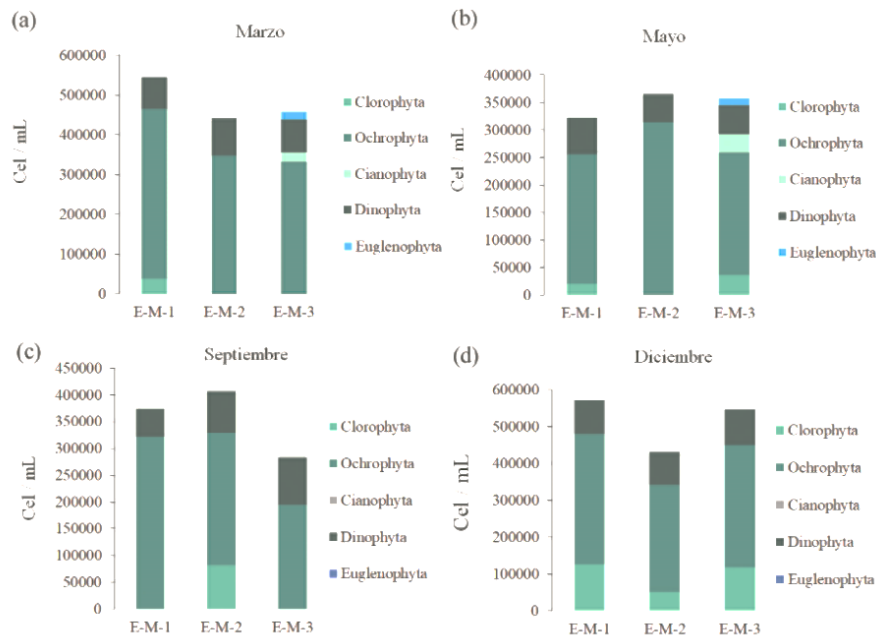


Figura 3. Densidad (cél/mL) por mes de muestreo. (a) marzo, (b) mayo, (c) septiembre, (d) diciembre

En mayo se hallaron 21 especies y 1.045.500 cél/mL. La estación E-M-2 exhibió la mayor densidad (365.100 cél/mL) (figura 3b), mientras que la mayor riqueza se observó en E-M-3 (20 especies), con representantes de todos los grupos taxonómicos identificados para el estudio. Las diatomeas sobresalen en todas las estaciones en densidad y riqueza, seguidas de los dinoflagelados (figura 3b). La especie más abundante durante este mes fue *Pseudo-nitzschia* sp. con 87.000 cél/mL.

En septiembre se obtuvo la menor riqueza de todo el estudio (16 especies) y una densidad de 1.064.106 cél/mL. Similar a lo observado durante mayo, se registró la mayor densidad en la estación E-M-2 (406.900 cél/mL), así como la mayor riqueza, con 17 especies. Las diatomeas dominaron en todas las estaciones

(figura 3c), siendo las especies *Chaetoceros* spp., *Coscinodiscus* sp. y *Pleurosigma* sp. las más abundantes con 87.000 cél/mL cada una, seguidas de la clorófito *Eudorina* sp. con 70.000 cél/mL. Los dinoflagelados también fueron frecuentes en todas las estaciones (figura 3c).

En cuanto a diciembre, se obtuvo la mayor densidad del año (1.548.900 cél/mL) y se identificaron 22 especies, con representantes de tres grupos taxonómicos (diatomeas, dinoflagelados y clorófitas) (figura 3d). La estación E-M-1 registró la mayor densidad (572.170 cél/mL), mientras que la mayor riqueza se observó en E-M-3 (21 especies). Tal como se evidenció durante el resto del año, las diatomeas fueron el grupo dominante, con 977.150 cél/mL (figura 3d), sobresaliendo

las especies *Chaetoceros* spp., *Coscinodiscus* sp. y *Pinnularia* spp., todas con 87.000 cél/mL.

Los análisis de atributos ecológicos mostraron una mayor diversidad en marzo ($H'=2,78$), y la menor se dio en septiembre ($H'=2,43$). En general, los valores de uniformidad fueron altos durante todo el año ($J'>0,9$), y el predominio fue bajo ($\lambda<0,2$).

Adicionalmente, se identificaron dos géneros de cianobacterias reportados en la literatura como productoras de cianotoxinas, aunque no fueron abundantes ni predominantes en todos los muestreos: *Oscillatoria* sp. y *Microcystis* sp. Asimismo, se identificó en bajas densidades la especie *Pseudo-nitzschia* sp., la cual se conoce por producir una neurotoxina llamada ácido domoico, que es responsable de intoxicación en humanos por consumo de moluscos.

El análisis de similaridad de Bray-Curtis (índice cofenético=0,7209), apoyado con la prueba SIMPROF y complementado con el MDS (estrés=0,14), mostró la clara separación de cada uno de los meses muestreados (figura 4 a y b). Asimismo, el análisis

SIMPER evidenció una mayor contribución de la especie *Chaetoceros* spp. en marzo y mayo (8,55 % y 8,34 %, respectivamente), mientras que septiembre tuvo una mayor contribución de la especie *Pleurosigma* sp., con 9,73 %, y en diciembre se destacó la especie *Nannochloropsis* sp., con 7,42 %.

Parámetros fisicoquímicos

Ciénaga Honda se caracterizó por una temperatura promedio de $30,03 \pm 3,25$ °C y salinidad entre 19 y 32,5 ppm. Asimismo, el pH evidenció un ambiente alcalino ($8,18 \pm 0,64$), y el OD osciló entre 5,8 y 8 mg/L. Finalmente, durante el año de muestreo, la velocidad promedio del viento fue de $18,18 \pm 2,10$ km/h. Los valores más bajos se observaron en mayo para los parámetros de salinidad (20,50 ppm) y OD (7,33 mg/L), mientras que los mayores registros de salinidad se dieron en septiembre (31,70 ppm), y los de OD, en marzo (tabla 2).

Tabla 2. Condiciones ambientales registradas durante los cuatro muestreos en las tres estaciones en Ciénaga Honda. Temperatura del agua (T°H₂O), desviación estándar (DE), temperatura ambiente (T°amb.), salinidad (SAL), velocidad del viento (VelViento), oxígeno disuelto (OD) y pH.

Mes	T°H ₂ O (°C)	DE	T°amb. (°C)	DE	SAL	DE	OD (mg/L)	DE	pH	DE	VelViento km/h	DE
Marzo	31,00	3,46	29,10	0,00	20,50	0,50	8,00	0,00	8,33	0,58	19,30	0,00
Mayo	30,50	1,37	32,13	2,80	19,33	0,58	7,33	0,58	8,23	0,40	19,43	0,23
Septiembre	28,23	6,10	32,50	0,85	31,70	1,39	6,87	0,92	8,13	0,06	14,70	0,00
Diciembre	30,37	0,32	29,53	0,31	21,10	1,13	7,63	0,15	8,00	0,17	19,30	0,00

Tabla 3. Variaciones de condiciones ambientales entre épocas de muestreo a partir de prueba Kruskal-Wallis. Diferencias significativas (*).

Parámetro	H(3, N=12)	P valor
T°H ₂ O	0,2315	0,9723
T°amb.	8,3475	0,0394*
Salinidad	9,2187	0,0265*
Oxígeno disuelto	6,7579	0,08
pH	1,2406	0,7433
Velocidad viento	9,5000	0,0233*

Los resultados evidenciaron variaciones en las condiciones ambientales entre las épocas de muestreo, específicamente en la temperatura ambiente, la salinidad y la velocidad del viento (tabla 3). En el caso de la primera, se hallaron diferencias significativas ($p<0,05$) entre diciembre ($29,53 \pm 0,31$) y septiembre ($32,50 \pm 0,85$), marzo ($29,10 \pm 0$) y mayo ($32,13 \pm$

$2,80$), y marzo ($29,10 \pm 0$) y septiembre ($32,50 \pm 0,85$). Para la salinidad y la velocidad del viento, por su parte, los valores más alto y más bajo, respectivamente, se registraron en septiembre ($31,70 \pm 1,39$ y $14,70 \pm 0$, en ese orden), contrastando con las otras épocas.

A partir del análisis de emparejamiento ambiente-biota

(BIOENV), se encontró que el conjunto de variables que mejor explicó la abundancia de las especies de microalgas en la Ciénaga Honda fueron la salinidad ($r= 0,134$), el pH ($r= 0,126$) y la velocidad del viento ($r= 0,124$).

En cuanto al análisis de componentes principales, se encontró que los primeros dos componentes explicaron el 92,74 % de variación de los datos. En estos componentes, se encontró que los parámetros ambientales que contribuyeron con mayor

variación fueron la salinidad, la temperatura del agua y la velocidad del viento. Adicionalmente, se evidenció que la salinidad resultó ser una variable importante en las muestras obtenidas en septiembre, mientras que en marzo, mayo y diciembre los parámetros ambientales que contribuyeron con una mayor influencia fueron la temperatura del agua y la velocidad del viento (figura 5).

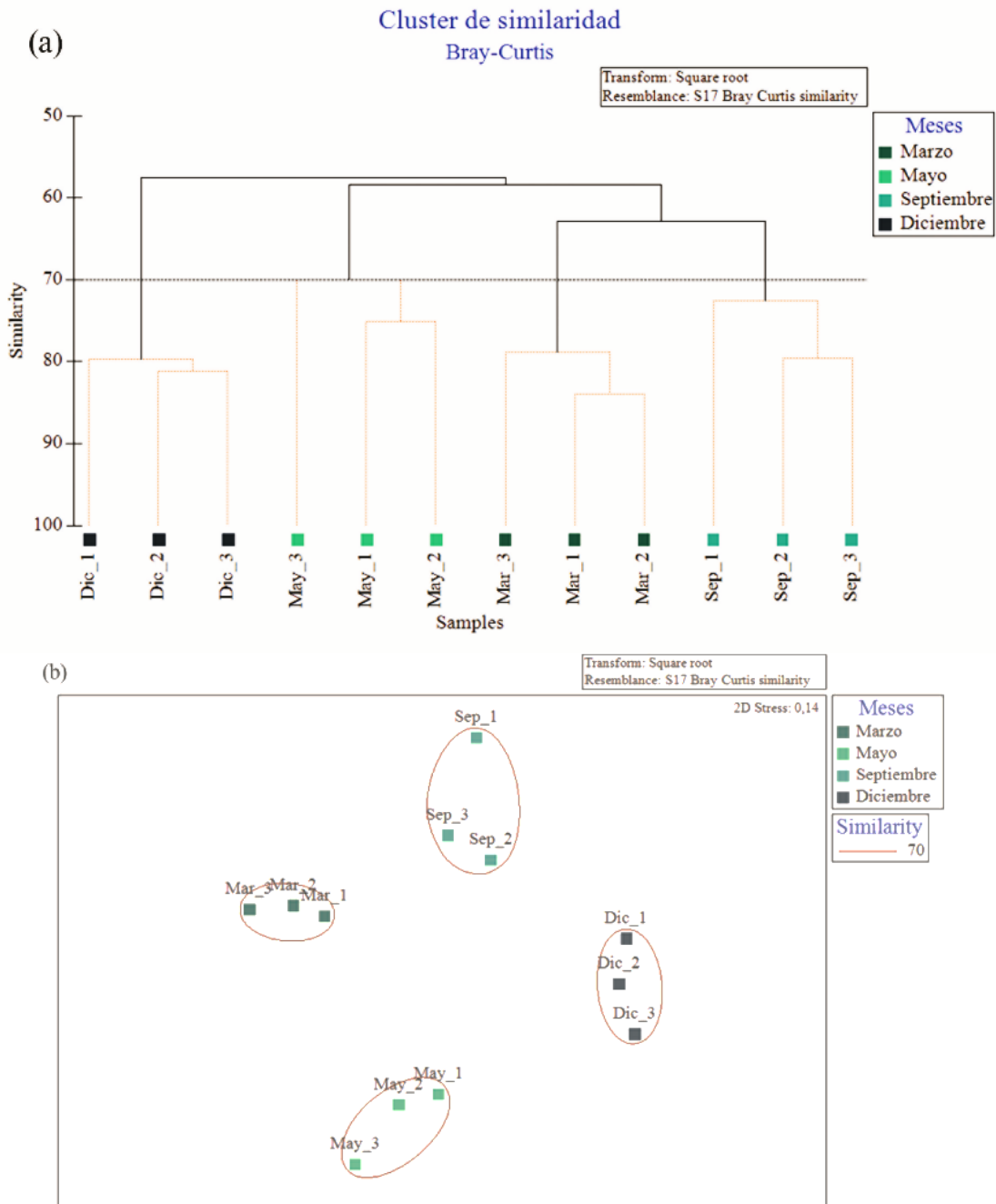


Figura 4. Gráficos de clasificación y ordenación. (a) Dendrograma de similaridad Bray-Curtis; (b) escalamiento multidimensional no métrico.

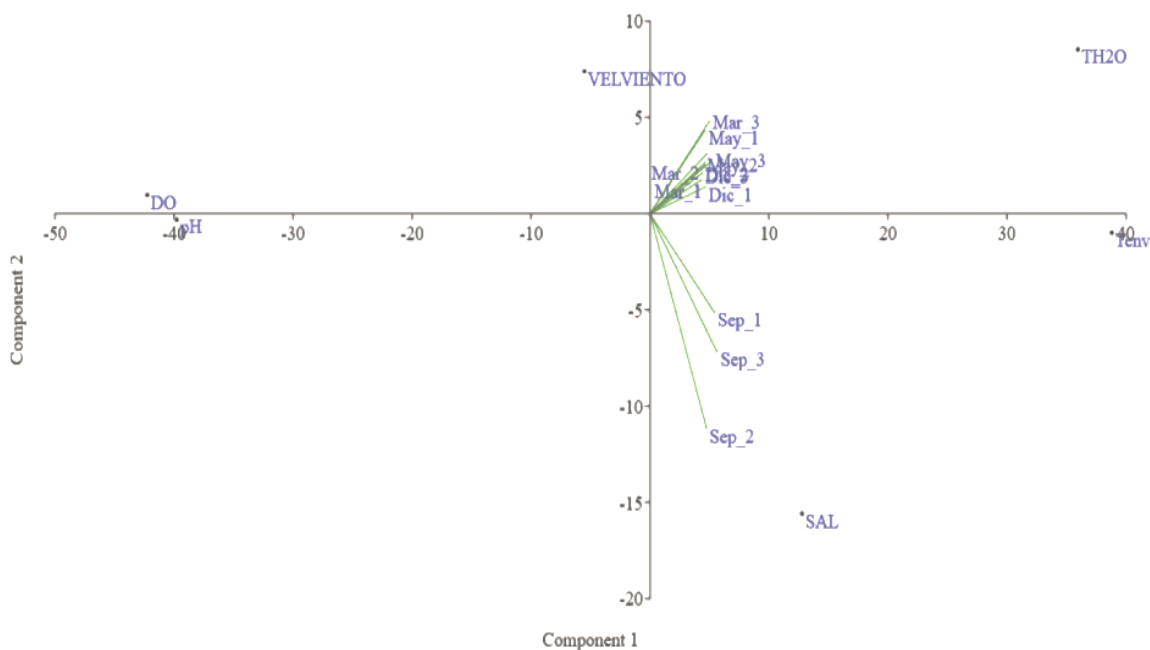


Figura 5. Gráfico de componentes principales. Se observa la influencia de la salinidad en septiembre, mientras que la velocidad del viento tiene mayor influencia en marzo, mayo y diciembre.

Discusión

Las diatomeas son el grupo más abundante y evidente de las aguas marinas (Lalli y Parsons, 1997), tal como se observó en el presente estudio (figura 2 y 3), ya que en cada uno de los meses muestreados se obtuvo una dominancia absoluta de este grupo taxonómico, seguido por la abundancia de los dinoflagelados, considerados como el segundo grupo más representativo del fitoplancton (Balech, 1977). Así pues, mientras que estos dos han sido reportados como los grupos más frecuentes en la bahía de Cartagena, las cianófitas y las clorófitas se registran en menor abundancia y por épocas (Suárez, 2007), en especial en cuerpos de agua dulce, neríticos y estuarios (Dawes, 1991); además, estas últimas son consideradas indicadores de procesos de eutrofización (McLusky y Elliot, 2004). En estudios anteriores realizados en la bahía de Cartagena por Tigreros (2002), Cañón *et al.* (2005), Suárez (2007), Suárez *et al.* (2007) y Osorio (2010), también se evidenció este hecho.

Para la zona costera del departamento del Magdalena, Ramírez-Barón *et al.* (2011) también reportan densidades considerablemente altas y frecuentes de diatomeas en la totalidad del periodo de los muestreos, con densidades promedio superiores a 2,000 cél/L y notable dominancia de

once géneros: *Chaetoceros*, *Skeletonema*, *Rhizosolenia*, *Guinardia*, *Bacteriastrum*, *Leptocylindricus*, *Helicotheca*, *Thalassionema*, *Asterionellopsis*, *Pseudo-nitzschia* y *Nitzschia*. Igualmente, para la bahía de Taganga, el grupo de las diatomeas mostró una alta presencia lo largo del estudio (Cárdenas, 2012).

El género más representativo en la presente investigación fue *Chaetoceros*, el cual se distribuye ampliamente en aguas oceánicas y, adicionalmente, presenta especies cuyas afloraciones pueden ser peligrosas (Sunesen *et al.*, 2008). *Coscinodiscus* sp. también fue representativo en el estudio, y es un género que se caracteriza por ser indicador de condiciones de alta cantidad de nutrientes y/o eventos de surgencia.

Las concentraciones de microalgas tóxicas fueron bajas en comparación con otros estudios en los que especies del género *Pseudo-nitzschia* sp. dominan en la comunidad fitoplanctónica (44 % de representatividad) en épocas de lluvias (Córdoba-Mena *et al.*, 2020). No obstante, es importante mantener la vigilancia de estas especies, sobre todo en zonas cercanas a fuentes de entrada de nutrientes y materia orgánica como es el caso de Ciénaga Honda (Pinilla *et al.*, 2010).

Por su parte, el dendrograma de similitud de Bray-Curtis mostró la separación de cada uno de los meses estudiados,

posiblemente influenciada por los marcados eventos climatológicos característicos del área de estudio. De este modo se observaron mayores densidad y riqueza en marzo, mayo y diciembre, considerados como típicamente secos debido a sus bajas precipitaciones y altas temperaturas y velocidad de viento, contrario a lo observado en septiembre, cuando empieza a aumentar la frecuencia de las precipitaciones (Franco-Herrera, 2005; Gutiérrez-Moreno *et al.*, 2012). La mayor presencia de células fitoplanctónicas se reportó durante los muestreos efectuados en marzo y mayo de 2018, probablemente relacionada con la época climática debido a que hay menor entrada de agua continental y sedimentos, lo que favorece la penetración de luz y la fotosíntesis (Franco-Herrera, 2005).

Lo anterior puede complementarse con los resultados obtenidos en los análisis de parámetros fisicoquímicos (Kruskal-Wallis, BIO-ENV y PCA), los cuales muestran una marcada relación de la salinidad, la temperatura del agua y la velocidad del viento con los parámetros biológicos. La primera es más baja en septiembre, mientras que las dos últimas se presentaron en mayor proporción para marzo, mayo y diciembre, tal como se ha reportado para las épocas seca y lluviosa (Franco-Herrera, 2005; Gutiérrez-Moreno *et al.*, 2012).

La velocidad del viento, con las turbulencias, permite la suspensión de organismos planctónicos, garantizando su permanencia en la columna de agua, especialmente las diatomeas, que tienden a exhibir sus mayores abundancias cuando este parámetro es relativamente constante durante el año (Calvo-Trujillo *et al.*, 2015), tal como se observa en el presente estudio. Asimismo, se ha establecido que en la época de lluvias la velocidad del viento disminuye, lo que ocasiona una estabilidad de la columna de agua que, asociada a los cambios en la salinidad, genera variaciones en la composición de las comunidades (Quintero y Terejova, 2010; Salazar-Gómez *et al.*, 2011). Lo mismo ocurre con el aumento en la temperatura en los meses secos (Franco-Herrera, 2005; Gutiérrez-Moreno *et al.*, 2012), lo cual también pudo influir en la separación de los meses de muestreo.

Las características fisicoquímicas reportadas en la presente investigación (tabla 2) son consistentes con reportes previos. Si bien son pocos los estudios sobre este cuerpo de agua, una investigación de Pinilla *et al.* (2010) en el complejo de ciénagas del bajo Canal del Dique, a través de la articulación de diferentes indicadores ecológicos, entre estos OD y pH (6 mg/L y 7,99, respectivamente), reporta que Ciénaga Honda presenta un índice de estado limnológico aceptable (IEL= 52,95). De esta manera dicho cuerpo de agua cobra relevancia para la región,

sobre todo si se considera que es destacado como una zona de importancia pesquera para los pobladores locales. En ese orden de ideas, se debe continuar con investigaciones que permitan hacer seguimiento de las condiciones fisicoquímicas y las comunidades acuáticas, haciendo énfasis en el fitoplancton ya que responde rápidamente a cambios ambientales y es comúnmente usado como un bioindicador del estado de salud de los ecosistemas acuáticos (Hemraj *et al.*, 2017).

Conclusión

En el presente estudio se realizó una descripción detallada de la composición de la comunidad fitoplanctónica de Ciénaga Honda y de su dinámica durante un año. Además, se logró establecer las variables ambientales que presentan mayor incidencia sobre esta comunidad.

Para los periodos de muestreo considerados, la comunidad fitoplanctónica de la Ciénaga Honda se caracterizó por la dominancia de las diatomeas. Las variaciones más bajas en la composición de la comunidad ocurrieron principalmente entre muestreos de septiembre, mientras que los cambios entre los demás meses fueron menos intensos. Las variables fisicoquímicas que tuvieron cambios significativos entre muestreos fueron la temperatura ambiente, la salinidad y la velocidad del viento, lo que se atribuye al patrón climático para la zona de estudio.

Se identificaron dos géneros de cianobacterias reportados en la literatura como productoras de cianotoxinas (*Oscillatoria* sp. y *Microcystis* sp.), así como la especie *Pseudo-nitzschia* spp., productora de una neurotoxina, por lo que se recomienda hacer nuevos estudios que permitan monitorear el estado del cuerpo de agua y así prevenir posibles problemas de salud pública. La presente investigación complementa la información existente sobre fitoplancton de la Ciénaga Honda y, por lo tanto, de la bahía de Cartagena (Bolívar).

Agradecimientos

A la empresa Sociedad Portuaria Puerto Bahía por la cofinanciación y el apoyo logístico. A la Universidad del Sinú y a la Escuela de Biología Marina por el apoyo en el procesamiento y análisis de las muestras. A María Paula Molina por la ayuda en la elaboración del mapa de área de estudio. Agradecemos a todas las personas que apoyaron durante los muestreos y a los evaluadores por sus comentarios y sugerencias que

contribuyeron significativamente con la mejora del manuscrito.

Referencias

- Álvarez, H. 1994. *Introducción al Método Ficológico*. Capítulo III. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador.
- Anagnostidis, K. y Komarek, J. 1986. Modern approach to the classification system of cyanophytes Oscillatoriales. *Archiv für hydrobiologie supplement* 50-53: 327-472.
- Arias, F. y Durán, J. 1984. Variación anual del fitoplancton en la bahía de Cartagena para 1980. Tesis de pregrado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Cartagena, Colombia.
- Armi, Z., Trabelsi, E., Turki, S., Béjaoui, B. y Maiz, N.B. 2010. Seasonal phytoplankton responses to environmental factors in a shallow Mediterranean lagoon. *Journal of Marine Science and Technology* 15(4): 417-26. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00773-010-0093-y>
- Arosemena, D., Cárdenas, H., Garzón, F., Ibáñez, F., Moreno, C. y Sierra, J. 1973. Algunos dinoflagelados y diatomeas de la bahía de Cartagena y alrededores. Informe Museo del Mar.
- Báez-Polo, A. 2013. *Manual de métodos de ecosistemas marinos y costeros con miras a establecer impactos ambientales. Convenio para establecer el fortalecimiento de los métodos de investigación marina para actividades costa afuera por parte del sector de hidrocarburos*. Invemar-ANH, Santa Marta.
- Balech, E. 1977. *Introducción al fitoplancton marino*. Universitaria, Buenos Aires
- Balech, E. 1988. *Los dinoflagelados del Atlántico sudoccidental. Publicaciones Especiales Instituto Español de Oceanografía*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid.
- Bicudo, C.E.M. y Bicudo, R.M.T. 1970. *Algas de águas continentais brasileiras. São Paul o Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências*. Do Instituto de Botânica. Editora Da Universidade De São Paulo, Brasil.
- Bourrelly, P. 1972. *Les Algues d'Eau Douce. N. Boubée et Cie*, Paris. Tomo I. Les Vertes Algues, París.
- Bourrelly, P. 1981. *Les Algues d'Eau Douce. Tome II. Les Algues Jauneset Brunas, Chromophycees, Chrysophycees, Phéophycées, Xanthophycées et Diatomées*. Segunda edición. N. Boubéeet Cie, París.
- Calvo-Trujillo, A., Díaz-Ramos, J., Subero-Pino, S., Charzeddine-Charzeddine, L., Rincones-Reyes, K., Troccoli-Ghinaglia, L., Elguezabal-Mendez, M., Marin, B. y -Marquez, B. 2015. Variación a corto plazo del fitoplancton en la bahía de Turpialito, Golfo de Cariaco, Venezuela, durante la época de lluvias. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 53(1): 13-24.
- Bravo-Sierra, E. 2004. Fitoflagelados potencialmente tóxicos y nocivos de costas del Pacífico mexicano. *Revista de Biología Tropical* 52: 5-16.
- Cañón, M. L., Vanegas, T., Gavilán, M., Morris, L.F. y Tous, G. 2005. Dinámica planctónica, microbiológica y fisicoquímica en cuatro muelles de la bahía de Cartagena y buques de tráfico internacional. *Boletín Científico CIOH* 23: 46-59. Doi: https://doi.org/10.26640/01200542.23.46_59.
- Cañón, M. L., Tous, G., López, K., López, R. y Orozco, F. 2007. Variación espacio temporal de los componentes fisicoquímico, zooplanctónico y microbiológico de la bahía de Cartagena. 2007. *Boletín Científico CIOH* 25: 120-134.
- Cárdenas García, A.C. 2012. Variación Espaciotemporal de la Composición en la Comunidad fitoplanctónica en la bahía de Taganga, Caribe colombiano. Tesis de pregrado, Universidad del Magdalena, Santa Marta, Colombia.
- Castro L.A. 1995. Estudio de la contaminación microbiológica y su relación con los parámetros fisicoquímicos en la bahía de Cartagena (Sector Laguito-Bocagrande). *Boletín Científico CIOH* 16: 73-90. Doi: <https://doi.org/10.26640/22159045.79>.
- Clarke, K.R. y Gorley, R.N. 2015. *Getting started with PRIMER V7*. PRIMER-E, Plymouth, Reino Unido.
- Córdoba-Mena, N., Flórez-Leiva, L., Atehortúa, L. y Obando, E. 2020. Changes in phytoplankton communities in a tropical estuary in the colombian Caribbean Sea. *Estuaries and Coasts* 43: 1-22. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12237-020-00750-z>.
- Corchuelo, C. y Moreno, G. 1983. Contribución al conocimiento del fitoplancton y algunos tintinidos del Pacífico colombiano. Tesis de doctorado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta, Colombia.
- Dawes, C.J. 1991. *Botánica Marina*. Primera edición. Editorial Limusa, México D.F.
- Digby, P. y Kempton, R. 1987. *Multivariate Analysis of Ecological Communities*. Chapman and Hall, Londres.
- Dimar-CIOH. 2011. *Catálogo de Fitoplancton de la Bahía de Cartagena, Bahía Portete del Caribe y agua de Lastre*. Dimar, Serie de Publicaciones Especiales CIOH, Cartagena.

- Dodge, R. 1975. The Porocentrales (Dinophyceae). II. Revision of taxonomy within the genus *Prorocentrum*. *Biological Journal of the Linnean Society* 71: 103-25. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.1975.tb02449.x>.
- Franco-Herrera, A. 2005. Oceanografía de la ensenada de Gaira. El rodadero, más que un centro turístico en el Caribe Colombiano. Fundación Universitaria Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.
- García, R. 1987. Composición, distribución vertical y abundancia de tintínidos y dinoflagelados en la bahía de Cartagena entre septiembre y diciembre de 1984. Tesis de pregrado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Cartagena, Colombia.
- Gavilán, M., Cañón, M. y Tous, G. 2005. Comunidad fitoplanctónica en la bahía de Cartagena y en aguas de lastre de buques de tráfico internacional. *Boletín Científico CIOH* 23: 60-75. Doi: https://doi.org/10.26640/01200542.23.60_75
- Gil-Aguilar, J., Labastida-Estrada, E., Mineros-Ramírez, R., Ramírez-Pérez, E., Tenorio-Romero, R.M. 2013. Chautengo Lagoon, Guerrero (February 2009): estimation of primary production and phytoplankton biomass and their association to some environmental conditions. *Revista Digital del Departamento* 2(4): 1-14.
- Guinder, V.A., Popovich, C.A. y Perillo, G.M.E. 2009. Particulate sus-pended matter concentrations in the Bahia Blanca Estuary, Argentina: implication for the development of phytoplankton blooms. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 85: 157-65. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2009.05.022>.
- Guiry, M. y Guiry, G. 2017. AlgaeBase. World-wide electronic publication. National University of Ireland, Galway. _URL_ <http://www.algaebase.org>. Consultado 10 de octubre del 2020.
- Guisande, C. y Barreiro, A. 2006. *Tratamiento de datos*. Ediciones Díaz de Santos, Galicia.
- Gutiérrez-Moreno, C., Marrugo, M. y Adrade, C. 2012. Respuesta del ambiente marino a algunos eventos meteorológicos sinópticos medidos sobre los arrecifes de San Andrés y de las Islas del Rosario, Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 41(1): 219-28.
- Hallegraeff, G.M. y Hara, Y. 2004. Taxonomy of harmful marine raphidophytes. En: Hallegraeff, G.M., Anderson, D.M.A.D., Cembella, Editores. *Manual on Harmful Marine Microalgae*. Segunda edición. United Nations Educational Scientific and Cultural Organization Publishing, París.
- Hammer, O., Harper, D. y Ryan, P. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4: 1-9.
- Hasle, G.R. y Syvertsen, E.E. 1997. Marine Diatoms. En: Tomas, C.R., Editor. *Identifying marine phytoplankton*. Academic Press Inc, California.
- Hemraj, D.A., Hossain, A., Ye, Q., Qin, J. y Leterme, S. 2017. Plankton bioindicators of environmental conditions in coastal lagoons. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 184: 102-14. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.10.045>.
- Lalli, C. y Parsons, T. 1997. *Biological Oceanography: an introduction*. Segunda edición. Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Ludwig, J.A. y Reynolds, J.F. 1988. *Statistical Ecology: A Primer on Methods and Computing*. Wiley-Interscience Pub, Nueva York.
- McLusky, D.S. y Elliot, M. 2004. *The estuarine ecosystem ecology. Threats and management*. Tercera edición. Oxford University Press.
- Mora, M.A. 1993. Contribución al conocimiento de los dinoflagelados de las zonas de surgencia. Tesis de pregrado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Cartagena, Colombia.
- Osorio, J.S. 2010. Dinámica espacio-temporal del fitoplancton en la bahía de Cartagena y su relación con parámetros fisicoquímicos en un ciclo climático anual. Tesis de pregrado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta, Colombia.
- Pinilla, G., Duarte, J. y Vega, L. 2010. Índice de estado limnológico (IEL) para evaluar las condiciones ecológicas de las ciénagas del Canal del Dique, Colombia. *Acta Biológica Colombiana* 15(2): 169-88.
- Prescott, G.W. 1970. *The fresh water algae*. W.M.C. Brown Company Publishers, Washington, D.C.
- Quintero, A. y Terejova, G. 2010. Brisas de mar y tierra al norte de la península de Araya, estado Sucre, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 49(1): 41-52.
- Ramírez, J.J. 1982. El fitoplancton: métodos de muestreo, concentración, recuento y conservación. *Actualidades Biológicas* 11(39): 30-6.
- Ramírez, A. 2005. Ecología aplicada. Diseño y análisis estadístico.

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.

Ramírez, J.J. 1982. El fitoplancton: métodos de muestreo, concentración, recuento y conservación. *Actualidades Biológicas* 11(39): 30-6.

Ramírez, A. 2005. Ecología aplicada. Diseño y análisis estadístico. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.

Ramírez-Barón, J.S., Franco-Herrera, A., García-Hoyos, L.M. y López, D.A. 2011. La comunidad fitoplanctónica durante eventos de surgencia y no surgencia, en la zona costera del departamento del Magdalena, Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 9(2): 233-63.

Reguera, B., Alonso, R., Moreira, A. y Méndez, S. 2011. Guía para el diseño y puesta en marcha de un plan de seguimiento de microalgas productoras de toxinas. Manuales y Guías 59. Comisión Oceanográfica Intergubernamental, París y Viena.

Salazar-Gómez, Y., Díaz-Ramos, J., Rincones-Reyes, K., Charzeddine-Charzeddine, L., Subero-Pino, S., Troccoli-Ghinaglia, L., Márquez, B., Marín, B., Márquez, A., Hernández, D. 2011. Cambios diarios de la biomasa fitoplanctónica en la bahía de Mochima, Venezuela, durante la época de lluvias. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 50(1): 69-77.

Steel, J.H. 1976. Patchiness. En: Cushing, D.H. y Walsh, J.J., Editores. *The ecology of the seas*. Blackwell Scientific Publications, Londres.

Steidinger, K. 1964. *Leaflet series: Plankton*. Florida Board of Conservation, St. Petersburg, Florida.

Suárez, V. 2007. Biodiversidad de fitoplancton en aguas de lastre de buques de tráfico internacional y en los principales muelles cargueros de la bahía de Cartagena, Colombia. Tesis de pregrado, Universidad de Bogotá Tadeo Lozano, Santa Marta, Colombia.

Suárez, V., Franco-Herrera, A. y Cañón, M. 2007. El microfitoplancton en los principales muelles de la Bahía de Cartagena, Caribe colombiano, vectores posibles de floraciones microalgales. *Boletín Científico CIOH* 25: 135-49. Doi: <https://doi.org/10.26640/01200542.25.135.149>.

Sunesen, I., Hernández-Becerril, D. y Sar, E. 2008. Marine Diatoms from Buenos Aires coastal waters (Argentina). V. Species of the genus *Chaetoceros*. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 43(2): 303-26. Doi: <https://doi.org/10.4067/S0718-19572008000200009>.

Tigreros, P. 2002. Presencia de organismos exógenos y patógenos en aguas de lastre buques tráfico internacional fase I. Centro de Investigaciones e Hidrográficas CIOH, Armada Nacional de Colombia, Cartagena.

Vidal, L. 2010. Manual del fitoplancton hallado en la Ciénaga Grande de Santa Marta y cuerpos de agua aledaños. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá.

Vidal, L. y Carbonell, M. 1977. Diatomeas y dinoflagelados de la bahía de Cartagena. Tesis de pregrado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Cartagena, Colombia.

Zar, J. 1996. *Biostatistical analysis*. Tercera edición. Prentice Hall. Inc., Upper Saddle River, Nueva Jersey.

Citar como: Torres-V M.J, Henao Castro A. y Contreras-Vega, L. 2021. Variación temporal de la composición y abundancia del fitoplancton en Ciénaga Honda, Cartagena, Colombia *Intropica* 16(1): xxxx. Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.4065>