

Fitoplancton del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo durante los periodos de precipitación del 2016 a 2019

Phytoplankton of Los Corales del Rosario y de San Bernardo National Natural Park during the precipitation periods from 2016 to 2019

Jainy Maldonado-Durán¹, María Isabel Criales-Hernández^{1*}, Mauricio Jerez-Guerrero¹, Camilo Valcarcel-Castellanos²

1. Laboratorio de hidrobiología, Escuela de Biología, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

2. Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo, Parques Nacionales Naturales de Colombia, sede Cartagena de Indias, Colombia.

*Autor de correspondencia: mcriales@uis.edu.co

Recibido: 25 de marzo de 2021

Aceptado: 28 de agosto de 2021

Publicación en línea: 30 de diciembre de 2021

Resumen

Palabras clave:
diversidad; arrecifes de coral;
área marina protegida;
Caribe colombiano

El fitoplancton es uno de los componentes primarios de los ambientes acuáticos marinos. En los arrecifes de coral, tiene un papel fundamental porque provee alimento a los corales y, secundariamente, da alimento al zooplancton, por lo que crea interacciones tróficas importantes en este ecosistema. El deterioro de los arrecifes a nivel global ha ocasionado, entre muchos otros factores, un aumento en la abundancia de especies de fitoplancton debido al incremento de nutrientes y sedimentos que no favorecen a la salud de estos ecosistemas. En el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo, en particular, estos efectos se perciben durante la época de precipitaciones, principalmente por descargas continentales. Por lo tanto, este estudio intenta contribuir con información detallada de la comunidad fitoplanctónica que se presenta en el área protegida y la abundancia relativa durante dicho periodo. Para esto se analizaron 16 muestras recolectadas en la temporada de mayor precipitación entre 2016 y 2019 en cuatro estaciones dentro del área del parque, mediante arrastres horizontales con una red de 63 µm. Se identificaron 228 morfoespecies de fitoplancton que corresponden a especies de ambientes de aguas someras y costeras. Las diatomeas fueron el grupo de mayor representatividad durante 2016, 2017 y 2019, con la presencia de especies como *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros affinis* y *Bacteriastrum furcatum*. Durante 2018 los dinoflagelados aumentaron su representatividad por encima de las diatomeas, con la presencia de algunas especies con potencial nocivo como *Pyrodinium bahamense* y *Alexandrium monilatum*, las cuales registraron las mayores abundancias relativas en ese año.

Abstract

Key words:
diversity; coral reef;
marine protected area;
Colombian Caribbean

Phytoplankton is one of the primary components of marine aquatic environments, in the coral reefs they play a fundamental role, because they provide food to corals and secondarily zooplankton feed their prey, thus they promote important trophic interactions in this ecosystem. Degradation of these ecosystems at a global level has caused, among many of the factors, an increase in the abundance of phytoplankton species due to the increase in nutrients and sediments that do not favor the health of the reefs. The Nacional Natural Park Corales del Rosario and San Bernardo is affected during the rainy season mainly by continental discharges, this study contributes with detailed data of the phytoplankton community that occurs and the relative abundance in the Protected Area during this period time. 16 samples were collected in the season with the highest rainfall between 2016 and 2019 in four stations within the Nacional Natural Park area were analyzed, using horizontal drags with a 63- µm net. 228 phytoplankton morphospecies were identified that correspond to species from shallow and coastal water environments, diatoms were the most representative group during 2016, 2017, and 2019, with the presence of species such as *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros affinis*, *Bacteriastrum furcatum*. During 2018 dinoflagellates increased their representativeness above diatoms and with the presence of species with harmful potential such as *Pyrodinium bahamense*, *Alexandrium monilatum*, which presented the highest relative abundances in this year.

Introducción

Las comunidades fitoplanctónicas son cruciales en el funcionamiento de los ecosistemas marinos debido al rol que cumplen en el ciclo del carbono (Yang *et al.*, 2021). Anualmente, incorporan alrededor de 50 mil millones de toneladas métricas de carbono en sus células durante la fotosíntesis (Falkowski y Raven, 1997) y convierten el carbono inorgánico (CO₂) en materia orgánica, aportando así en la captura del carbono atmosférico mientras realizan sus funciones vitales (Falkowski, 2002). La comunidad del fitoplancton en los arrecifes de coral se localiza en la base de la red alimentaria, influyendo en las tasas de calcificación y en la proliferación larval de diversidad de poblaciones en el arrecife (D'Angelo y Wiedenmann, 2014). Su tiempo de permanencia y su magnitud de biomasa son determinantes en las interacciones tróficas que allí se desarrollan (Racault *et al.*, 2015).

Los arrecifes de coral son ecosistemas frágiles que se han visto fuertemente afectados por diferentes factores que pueden ser causados por procesos naturales o antrópicos, como el incremento de la población costera, la acidificación, el calentamiento de los océanos a nivel global, la escorrentía continental y las precipitaciones (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007; Pérez-Castresana *et al.*, 2014; Racault *et al.*, 2015; Zapata, 2017; Perry y Alvarez-Filip, 2019; Darling *et al.*, 2019).

El Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo (PNNCRSB) se encuentra ubicado en la costa Caribe de Colombia, entre los departamentos de Bolívar y Sucre, y constituye la plataforma coralina más extensa del Caribe continental colombiano, con aproximadamente 420 km². Comprende ecosistemas de bosque costeros de manglar y pastos marinos que suelen bordear las islas, y cuenta con una alta diversidad faunística (Pineda *et al.*, 2006). Es considerado un área protegida de alta importancia ecológica para el Caribe colombiano por su alto valor económico y natural (Rodríguez, 2017). El parque está hidrográficamente condicionado por el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y por los vientos alisios a lo largo del año (Ricaurte-Villota y Bastidas-Salamanca, 2017).

Particularmente, los arrecifes costeros que se observan en el PNNCRSB se ven perturbados fuertemente durante la época de precipitaciones por las descargas del Canal del Dique, que aumentan la productividad y causan problemas en el bienestar del ecosistema (Incofer y Universidad Jorge Tadeo Lozano, 2014). El cambio de los patrones de circulación, la sedimentación, la temperatura, la transparencia de la columna

de agua y la disponibilidad de nutrientes son variables que afectan de forma directa la composición y la abundancia de estas comunidades acuáticas, las cuales están moduladas por los cambios en los periodos hidroclimáticos de la región (Meichtry de Zamburín *et al.*, 2010). En la actualidad existen pocos reportes que describan la comunidad fitoplanctónica en el PNNCRSB, y se limitan a inventarios de las especies presentes (Hoyos-Acuña *et al.*, 2019; Parques Nacionales Naturales, 2019). Por tal razón, este estudio intenta contribuir con nueva información de esta comunidad durante el periodo de precipitación de cuatro años en el PNNCRSB.

Materiales y métodos

Área de estudio

El presente trabajo se desarrolló a partir de un total de 16 muestras donadas a la Colección de Hidrobiología del Museo de Historia Natural de la Universidad Industrial de Santander (UIS-MHB-1556, UIS-MHB-1559, UIS-MHB-1547, UIS-MHB-1549, UIS-MHB-1552, UIS-MHB-1554, UIS-MHB-2901, UIS-MHB-2900, UIS-MHB-2899, UIS-MHB-2902, UIS-MHB-2995-UIS-MHB-2998). Estas fueron recolectadas en un monitoreo anual de cuatro estaciones con diferentes tipos de formación coralina presentes en el PNNCRSB, cuya clasificación se propone, según Díaz *et al.* (2000), así: MC es una estación con predominio de litoral rocoso y presencia de corales franjeantes; PB es una estación con predominio de un arrecife de tipo parche; IA es una estación con predominio de pastos marinos y parches coralinos, y CP es una estación de sistema lagunar con predominio de manglar.

La recolección de las muestras se realizó exclusivamente durante el periodo de precipitación (noviembre) de 2016, 2017, 2018 y 2019 (figura 1), mediante arrastres horizontales con una red estándar de 30 cm de diámetro y malla de 63 μm. Las muestras fueron fijadas en lugol y formol al 4 % (Ferrario *et al.*, 1995). En cada estación se registraron las siguientes variables fisicoquímicas: transparencia de la columna de agua (con disco Secchi), y temperatura superficial, salinidad y pH (a través de una sonda multiparamétrica marca HACH (temperatura: ± 0,3 °C). Se estimó la concentración de clorofila *a* para cada estación mediante imágenes de satélite correspondientes al promedio semanal de noviembre de cada año con una resolución espacial de 4 km, disponibles en el portal Giovanni de la NASA (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>). Estos valores se utilizaron como un proxy de la biomasa fitoplanctónica (Dávila *et al.*, 2014).

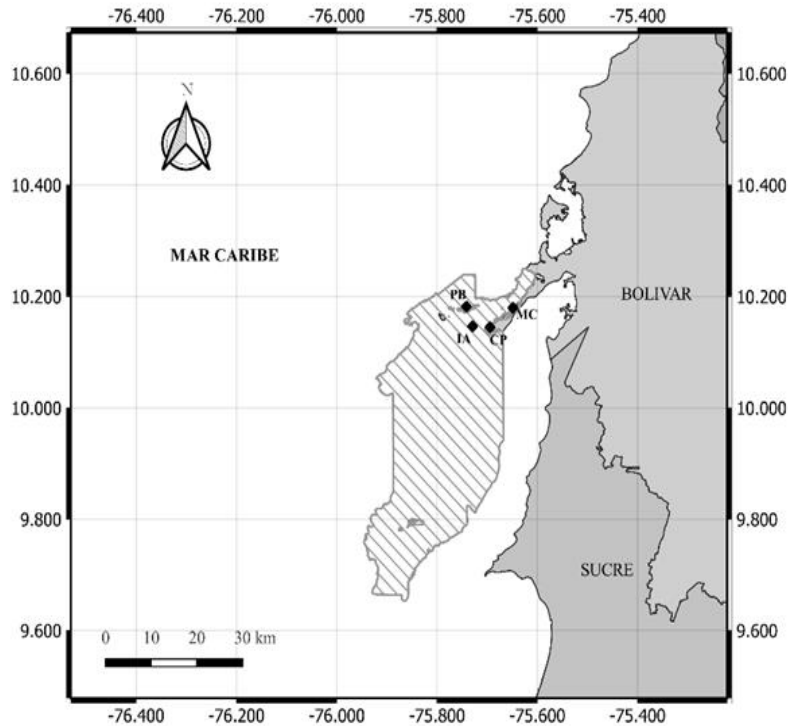


Figura 1. Ubicación del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo (área sombreada), donde se señalan las estaciones de muestreo (PB: Punta Brava, IA: Isla Arena, MC: Mojaculo, CP: Ciénaga El Pelao).

Asimismo, se descargaron valores de precipitación acumulada mensual de noviembre para cada uno de los años de estudio, a partir de los boletines meteomarineros del Caribe colombiano emitidos por el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CIOH) para la estación meteorológica Isla Naval, ubicada dentro del PNNCRSB (Castillo *et al.*, 2016; Monroy *et al.*, 2017, 2018; Moreno *et al.*, 2019).

La identificación taxonómica de las especies de fitoplancton se llevó a cabo bajo un microscopio óptico Axiolab Zeiss, hasta el nivel taxonómico más bajo posible utilizando diferentes claves de identificación (Cupp, 1943; Taylor, 1976; Pesantes, 1983; Balech *et al.*, 1984; Vidal, 1995; Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, 2011), siguiendo las actualizaciones taxonómicas de Guiry y Guiry (2021). Entretanto, para la identificación morfológica de los organismos, se tomaron microfotografías con una cámara Axiocam ERc 5s, y para contar las morfoespecies se emplearon una cámara Sedgwick Rafter de 1 mL y un microscopio invertido Primovert Zeiss. Los conteos se hicieron hasta 400 individuos de las morfoespecies más abundantes, condición que asegura un límite de confiabilidad del 90 %. Luego se estimó la abundancia

relativa para cada una de las morfoespecies encontradas (Wetzel y Likens, 2000).

Con el fin de observar la estructura de la comunidad de fitoplancton, se realizaron gráficos de rango/abundancia de Whittaker para cada uno de los años. Además, para establecer los atributos de la comunidad fitoplanctónica, se estimó la diversidad verdadera de orden 0 ($q=0$), orden 1 ($q=1$) y orden 2 ($q=2$) por medio de los números de Hill (Colwell y Coddington, 1994). Se evaluó si existían diferencias entre los años de estudio para las variables biológicas e hidrológicas aplicando una prueba ANOVA de una vía y Kruskal-Wallis (KW), dependiendo de la distribución presentada con la prueba de Shapiro-Wilk. Finalmente, para determinar si existe relación entre la abundancia relativa de la comunidad de fitoplancton y las variables hidrológicas, se realizaron correlaciones de Pearson. Estos análisis se ejecutaron en los programas R Studio y Primer v7.

Resultados

Respecto a las variables fisicoquímicas, ninguna presentó diferencias significativas entre los años de estudio ($p>0,05$). La

temperatura superficial arrojó valores entre 29 °C y 31,4 °C (KW>0,05). La salinidad estuvo entre 27,25 y 36,8 (KW>0,05). El pH se registró entre 6,32 y 8,46 (KW>0,05). La transparencia durante los años de estudio varió entre 2,40 m y 10 m (KW>0,05), y la clorofila *a* reflejó valores entre 5,88 mg/m³ y 0,58 mg/m³ (KW>0,05). Por último, los reportes del boletín del CIOH de la precipitación acumulada mensual tuvieron su valor máximo en el año 2016 (320 mm), y el valor mínimo se dio en el año 2019 (25 mm) (tabla 1).

Un total de 228 morfoespecies de fitoplancton fueron identificadas en los cuatro años de estudio. Estas se distribuyen en cinco phyla, ocho clases, 56 familias y 84 géneros. El *phylum* con mayor número de morfoespecies fue Bacillariophyta (163), seguido por Miozoa (59), Cianobacteria (3), Ochrophyta (2) y Charophyta (1). Del total de morfoespecies, 44 se identificaron hasta el nivel de especie (e. g., *Podocystis adriatica*, *Podolampas bipes*, *Protoperdinium conicum*), y también se identificó hasta

el nivel de variedad a *Trigonium formosum* var. *pentagonale* (anexo 1, figura 2).

El año que presentó la mayor abundancia relativa fue 2017, con un valor promedio de 12,5 %. Las diatomeas *Bacteriastrum furcatum*, *Skeletonema costatum* y *Thalassionema* sp. aportaron la mayor abundancia en este periodo. Le sigue el año 2018, con un valor promedio de 9,91 %, donde los dinoflagelados *Alexandrium* cf. *monilatum* y *Pyrodinium bahamense* registraron mayores aportes a la abundancia relativa (anexo 2, figura 3). El año 2016, por otra parte, presentó un promedio de 8,16 %, donde las diatomeas *S. costatum* y *Skeletonema* sp. fueron las que más aportaron a la abundancia relativa. Por último, el año 2019 tuvo el menor valor promedio de abundancia relativa con 6,98 %, donde las diatomeas *Pseudonitzschia* sp.2 y *Chaetoceros affinis* fueron quienes más contribuyeron (anexo 2, figura 3).

Tabla 1. Datos hidrológicos registrados durante el mes de noviembre en cada año de estudio en el PNNCRSB. TSM: temperatura superficial del mar, prom: promedio, SD: desviación estándar, Pr: precipitación acumulada mensual, Chl-*a*: clorofila *a*. *Precipitación acumulada mensual a partir de datos extraídos de los boletines mensuales del CIOH. **Clorofila *a* calculada a partir de datos satelitales de la plataforma Giovanni de la NASA

Variable	2016	2017	2018	2019
	prom	prom	prom	prom
TSM (°C)	30,20±0,97	29,85±0,50	30,42±0,51	30,77±0,64
Salinidad	31,45±0,21	35,17±2,34	28,85±0,88	29,58±2,15
Transparencia (m)	3,04±0,84	5,95±2,87	4,75±1,55	2,89±1,74
pH	7,51±0,39	7,97±0,02	6,72±0,48	8,16±0,22
Pr (mm)*	320	48	60	25
Chl- <i>a</i> (mg/m ³)**	3,66±2,22	2,76±1,80	1±0,26	0,75±0,19

La diversidad verdadera en el año 2019 obtuvo la riqueza ($q=0$) más alta (159 especies efectivas), seguido de 2016 (158 especies efectivas), 2018 (122 especies efectivas) y 2017 (121 especies efectivas). La diversidad de orden 1 ($q=1$) fue mayor para el año 2019, y el menor valor lo presentó el 2016, siendo el 2019 2,14 veces más diverso en especies de fitoplancton que 2016. Respecto a la diversidad de orden 2 ($q=2$), el 2019 presentó el mayor valor, siendo 2,36 veces más equitativo que el 2016, que obtuvo el menor valor (tabla 2). Ninguno de los órdenes reflejó diferencias significativas para los años de estudio ($p>0,05$).

Del total de morfoespecies identificadas, 64 estuvieron presentes en todos los años de estudio, y 98, en al menos dos de los años (anexo 2). Se encontró que el 14,55 % del total de

morfoespecies fueron registros únicos en el 2016 (e.g., *Trigonium arcticum*, *Helicotheca* sp., *Pyrocystis* sp.), 9,91 % en el 2017 (e. g., *Dactyliosolen* sp., *Detonula* sp., *Oscillatoria* sp.1), 5,73 % en el 2018 (e. g., *Phalacroma doryphorum*, *Tripos horridus*, *Diploneis* sp.1), y 16,35 % en el 2019 (e. g., *Pseudonitzschia* sp.2, *Dictyocha* sp.2) (anexo 2).

La relación entre la abundancia relativa del fitoplancton y las variables hidrológicas solo mostró una correlación significativa positiva con la transparencia ($r=0,699$, $p=0,0054$). Las demás variables hidrológicas no presentaron relaciones significativas con la abundancia: temperatura ($r=-0,11$, $p=0,669$), pH ($r=-0,094$, $p=0,737$), salinidad ($r=-0,362$, $p=0,223$), clorofila *a* ($r=-0,001$, $p=0,995$).

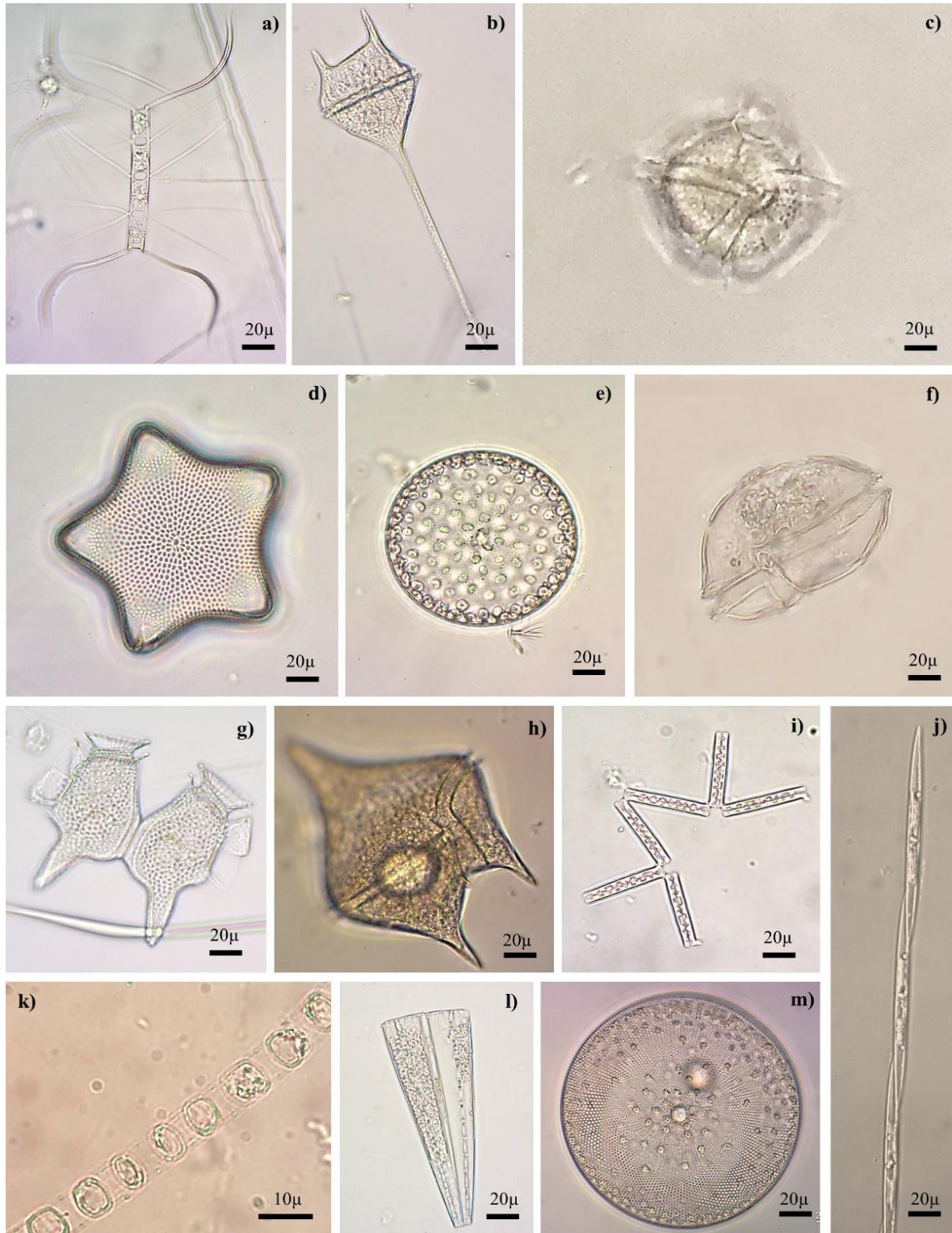


Figura 2. Fotografías en microscopio óptico de algunos géneros y especies representativos del PNNCRSB: (a) *Chaetoceros affinis*, (b) *Tripos pentagonus*, (c) *Pyrodinium bahamense*, (d) *Trigonium formosum* var. *pentagonus*, (e) *Coscinodiscus granii*, (f) *Alexandrium* cf. *monilatum*, (g) *Dinophysis caudata*, (h) *Protoperidinium* sp.; (i) *Thalassionema* sp.; (j) *Pseudo-nitzschia* sp.; (k) *Skeletonema costatum*, (l) *Thalassionema* sp.; (m) *Coscinodiscus* sp. Tomadas por Jainy Maldonado, María Isabel Criales y Sebastián Plata.

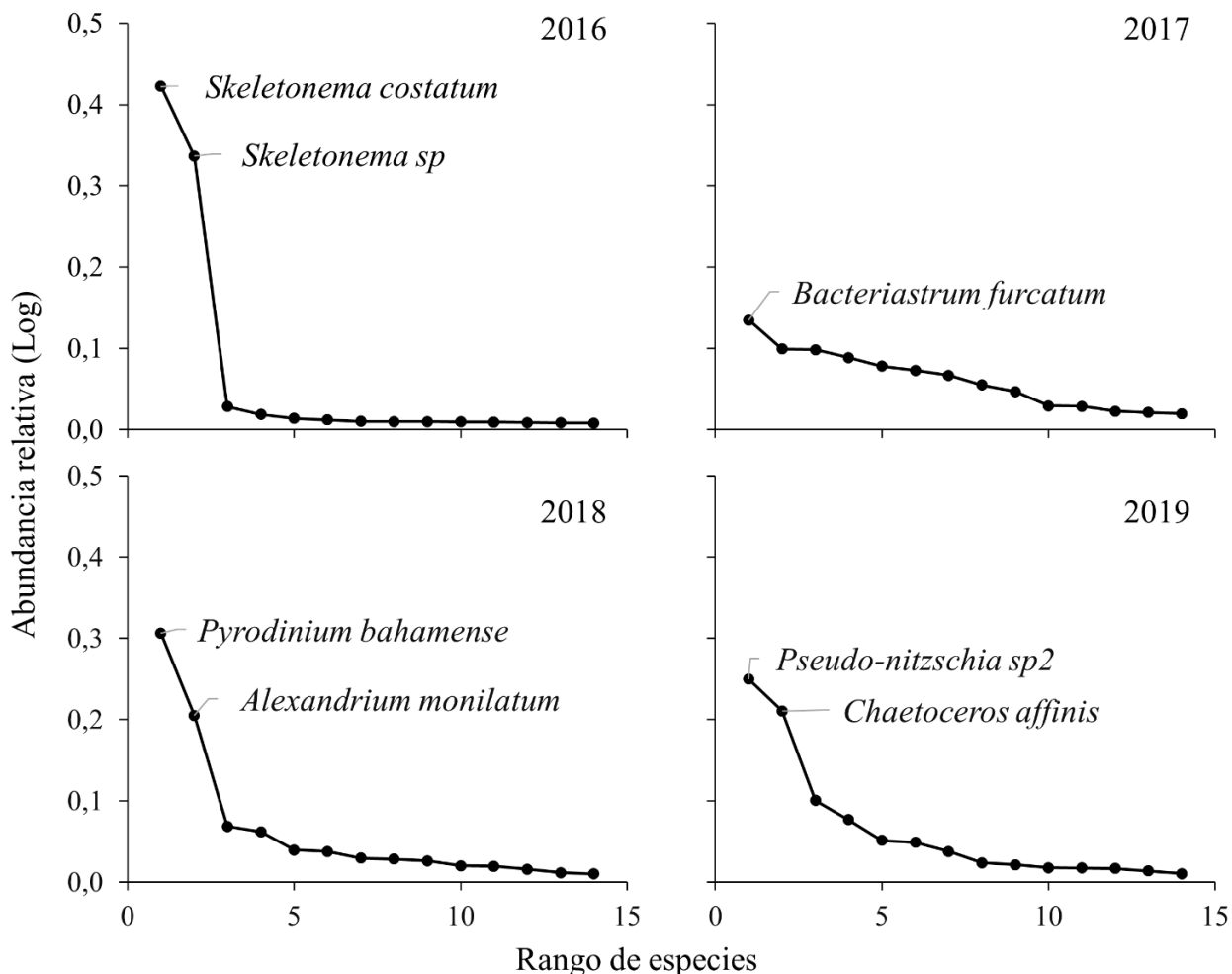


Figura 3. Morfoespecies más abundantes (abundancia relativa=90 %) presentes en el PNNCRSB en la temporada de precipitaciones durante cuatro años.

Tabla 2. Estimación de la diversidad fitoplanctónica mediante los números de Hill. Riqueza (q0); diversidad de orden 1 (q1); diversidad de orden 2 (q2)

	q0	q1	q2
2016	158	8,71±2,50	3,63±1,19
2017	121	11,27±4,51	5,92±2,54
2018	122	11,67±7,26	5,67±3,84
2019	159	18,69±9,91	8,59±5,00

Discusión

El registro de especies de fitoplancton en el PNNCRSB se documentó inicialmente en los trabajos de Vidal (1981). Posteriormente, el mismo autor recopiló información en los listados de especies de diatomeas y dinoflagelados publicados en 2010 y 2011 (Lozano-Duque *et al.*, 2010, 2011), por lo que el presente trabajo representa una nueva contribución en la revisión de las especies presentes durante cuatro años de

estudio de la comunidad de fitoplancton durante la época de precipitaciones del 2016 al 2019. Este estudio generó el nuevo registro de 13 especies para el Caribe colombiano según la base de datos *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF) (2021), y 23 especies según el Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SIB Colombia) (2021) ([anexo 3](#)).

El fitoplancton de zonas costeras y someras responde a los cambios en las condiciones oceanográficas y a la variabilidad hidrolimática, por lo que se pueden encontrar diferencias en la presencia y abundancia de algunos géneros (Käse y Geuer, 2018). En el PNNCRSB se tiene registro de cambios importantes entre las épocas climáticas, donde se reporta que las menores salinidades, para la época de altas precipitaciones, pueden llegar a alcanzar valores entre 26,6 y 33,7 debido a la influencia de la desembocadura del Canal del Dique. Por otro lado, durante la época seca, las salinidades superficiales están en alrededor de 34,5 (Pineda *et al.*, 2006; García-Hoyos *et al.*, 2010;

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés, 2013; Romero-Rodríguez *et al.*, 2017). Por lo tanto, la presencia y la abundancia relativa de los géneros *Skeletonema*, *Bacteriastrium*, *Chaetoceros*, *Tripos* y *Amphora*, registrados en los años 2016, 2017 y 2019, se ven favorecidas por la disminución en los valores de salinidad propia de la temporada de altas precipitaciones. Este comportamiento también se observa para otras áreas del Caribe y del Pacífico (Peña y Pinilla, 2002; Franco-Herrera *et al.*, 2006; Coronado-Franco *et al.*, 2018).

El género *Pseudo-nitzschia* es una diatomea pennada cosmopolita (Hasle, 1995, 2002) que puede estar en ambientes oceánicos y costeros, y que presenta mayor abundancia cuando las salinidades se incrementan. Así, aunque en el presente trabajo no se encontró una correlación positiva con alguna de las variables analizadas que se relacione con el aumento en las abundancias del género *Pseudo-nitzschia* en el año 2019, este comportamiento debe ser considerado como un suceso particular. La mayor abundancia relativa de dicho periodo podría deberse a una diferencia en la época de precipitación que favoreció el desarrollo y el crecimiento en este género. Conductas similares han sido reportadas por diferentes autores en distintas regiones, tales como Galeano y Arteaga (2010) para el Pacífico colombiano y Thessen (2005) para las costas estadounidenses. Cabe mencionar que en los últimos años este género ha adquirido gran interés debido a que es influenciado por la eutrofización de las aguas, y se ha observado que varias especies son potencialmente toxígenas y pueden ser causantes de florecimientos algales nocivos (FAN) o mareas rojas (Lundholm *et al.*, 2004; Galeano y Arteaga, 2010; Moreira, 2013).

P. bahamense se ha reportado como una especie tropical y es causante de los FAN más críticos que hay. Resulta potencialmente tóxica pues produce un perfil de saxitoxinas que usualmente puede llegar a encontrarse en florecimientos algales durante las temporadas de precipitaciones, particularmente vinculados a zonas costeras y a lagunas con bosques de manglar (Meave-Del Castillo *et al.*, 2012; Morquecho *et al.*, 2012; Merino-Virgilio *et al.*, 2014). De manera similar, *A. cf. monilatum* se ha encontrado asociado con otros organismos que producen florecimientos; entre ellos, *P. bahamense*, *Tripos* sp. y *Prorocentrum* sp. Esta especie ha sido reportada en el golfo de México, el Caribe, Venezuela y Costa Rica y tiene altos requerimientos de nitrógeno que se relacionan con la temporada lluviosa, cuando las condiciones son óptimas para la especie y su crecimiento (Arias y Duran, 1984; Mee *et al.*, 1984; Band-Schmidt *et al.*, 2011; Calvo-Trujillo *et al.*, 2018). Es

posible que las descargas continentales como consecuencia de la temporada de precipitaciones en el PNNCRSB tengan un papel determinante en la comunidad fitoplanctónica, alterando las concentraciones de nutrientes como nitratos, silicio, fósforo, entre otros. Este fenómeno es similar a lo encontrado por otros autores (Band-Schmidt *et al.*, 2011; Calvo-Trujillo *et al.*, 2018), quienes reportan dichos elementos como los principales compuestos que influyen en los florecimientos algales de estas especies.

Este trabajo representa una aproximación al conocimiento de la comunidad fitoplanctónica en el área marina protegida PNNCRSB después de once años. Se observan cambios en la diversidad de dicha comunidad entre los cuatro años evaluados con la presencia de especies propias de esta temporada, pero además se registran proliferaciones de *P. bahamense*, *A. cf. monilatum* y *Pseudo-nitzschia* sp., consideradas especies potencialmente tóxicas. Es importante que se continúe con el monitoreo de esta área marina protegida, incluyendo la temporada de bajas precipitaciones, con el propósito de evaluar el potencial de proliferaciones nocivas para prevenir efectos negativos en el ecosistema y el turismo que se desarrolla en la zona.

Agradecimientos

Este manuscrito es producto del monitoreo efectuado en conjunto con la Universidad Industrial de Santander y el PNNCRSB, avalado por Parques Nacionales Naturales de Colombia (Acta de Reunión PNNCRSB N.º 1 24-07-2018) y apoyado por la Escuela de Biología de la Universidad Industrial de Santander. A Sebastián Plata por el apoyo técnico en la toma de fotografías en el Laboratorio de Hidrobiología de la UIS, y a Jesús Hoyos por la confirmación de la especie *A. cf. monilatum*. Al Profesor Luis Alfonso Vidal Q.D.E.P. por sus innumerables aportes y enseñanzas en el estudio y conocimiento del fitoplancton colombiano.

Referencias

- Arias, F.A. y Duran, F. 1984. Variación anual del fitoplancton en la Bahía de Cartagena. *Boletín Científico CIOH* (5): 61-116.
- Balech, E., Akselman, R., Benavides, H. y Negri, R. 1984. Suplemento a "Los dinoflagelados del Atlántico Sudoccidental". *Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero* 4. INIDEP, Mar del Plata.
- Band-Schmidt, C.J., Bustillos-Guzmán, J.J., López-Cortés, D.J., Núñez-Vázquez, E. y Hernández-Sandoval, F.E. 2011. El estado

- actual del estudio de florecimientos algales nocivos en México. *Hidrobiológica* 21(3): 381-413.
- Calvo-Trujillo, A., Rincones-Reyes, K., Díaz-Ramos, J.R., Márquez-García, B., Subero-Pino, S., Elista-Ramírez, E. y Troccoli-Ghinaglia, L. 2018. Distribución espacial y temporal del fitoplancton en el golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela, febrero 2014-enero 2015. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 47(2): 63-82.
- Castillo, F., Carrillo, A., Herrera, G., Dagua, C., Guzmán, A. y Herrera, D. 2016. *Boletín Meteorológico Mensual del Caribe Colombiano N.º 47*. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) y Dirección General Marítima (Dimar), Cartagena.
- Colwell, R.K. y Coddington, J.A. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society (Series B)* 345: 101-118.
- Coronado-Franco, K.V., Selvaraj, J.J. y Mancera, J.E. 2018. Algal blooms detection in Colombian Caribbean Sea using MODIS imagery. *Marine Pollution Bulletin* 133: 791-798.
- Cupp, E. 1943. *Marine plankton diatoms of the west coast of North America*. Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography, University of California Press, San Diego.
- D'Angelo, C. y Wiedenmann, J. 2014. Impacts of nutrient enrichment on coral reefs: new perspectives and implications for coastal management and reef survival. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 7(2): 82-93. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.029>.
- Darling, E.S., McClanahan, T.R., Maina, J., Gurney, G.G., Graham, N.A.J., Januchowski-Hartley, F., Cinner, J.E., Mora, C., Hicks, C.C., Maire, E., Puotinen, M., Skirving, W.J., Adjeroud, M., Ahmadi, G., Arthur, R., Bauman, A.G., Begler, M., Berumen, M.L., Bigot, L., Bouwmeester, J., Brenier, A., Bridge, T.C.L., Brown, E., Campbell, S.J., Cannon, S., Cauvin, B., Chen, C.A., Claudet, J., Denis, V., Donner, S., Estradivari, Fadli, N., Feary, D.A., Fenner, D., Fox, H., Franklin, E.C., Friedlander, A., Gilmour, J., Goiran, C., Guest, J., Hobbs, J.A., Hoey, A.S., Houk, P., Johnson, S., Jupiter, S.D., Kayal, M., Kuo, C.Y., Lamb, J., Lee, M.A.C., Low, J., Muthiga, N., Muttaqin, E., Nand, Y., Nash, K.L., Nedlic, O., Pandolfi, J.M., Pardede, S., Patankar, V., Penin, L., Ribas-Deulofeu, L., Richards, Z., Roberts, T.E., Rodgers, K.S., Safuan, C.D.M., Sala, E., Shedrawi, G., Sin, T. M., Smallhorn-West, P., Smith, J.E., Sommer, B., Steinberg, P.D., Sutthacheep, M., Tan, C.H.J., Williams, G.J., Wilson, S., Yeemin, T., Bruno, J.F., Fortin, M.J., Krkosek, M. y Mouillot, D. 2019. Social-environmental drivers inform strategic management of coral reefs in the Anthropocene. *Nature Ecology and Evolution* 3(9): 1341-1350. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41559-019-0953-8>.
- Dávila, P.M., Díaz, S.H. y Valdés, J. 2014. Phytoplankton biomass profiles in San Jorge Bay (Antofagasta, Chile) based on color imagery. *Ciencias Marinas* 40(1): 59-73. Doi: <https://doi.org/10.7773/cm.v40i1.2345>.
- Díaz, J.M., Barrios, L.M., Cendales, M.H., Garzón-Ferreira, J., Geister, J., López-Victoria, M., Ospina, G.H., Parra-Velandia, F., Pinzon, J., Vargas-Angel, B., Zapata, F., Zapata, A. y Zea, S. 2000. *Áreas coralinas de Colombia*. Invemar, Santa Marta.
- Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (Dimar-CIOH). 2011. *Catálogo de fitoplancton de la bahía de Cartagena, bahía Portete y agua de lastre*. Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe, Cartagena de Indias.
- Falkowski, P. 2002. The Ocean's Invisible Forest. *Scientific American* 287(2): 54-61. Doi: <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0802-54>.
- Falkowski, P. y Raven, J. 1997. *Aquatic Photosynthesis*. Princeton University Press, New Jersey.
- Ferrario, M.E., Sar, E.A. y Sala, S.E. 1995. *Metodología básica para el estudio del fitoplancton con especial referencia a las diatomeas, Manual de Métodos Ficológicos*. Universidad de Concepción, Concepción.
- Franco-Herrera, A., Castro, L. y Tigreros, P. 2006. Plankton dynamics in the south-central Caribbean Sea: Strong seasonal changes in a coastal tropical system, Caribbean. *Journal of Science* 42(1): 24-38.
- Galeano, C. y Arteaga, E. 2010. Distribución y abundancia de diatomeas del género *Pseudo-nitzschia* en condición de El Niño 2007 sobre la cuenca pacífica colombiana. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 39(1): 25-39.
- García-Hoyos, L.M., Franco-Herrera, A., Ramírez-Barón, J.S. y López-Cerón, D.A. 2010. Dinámica océano-atmósfera y su influencia en la biomasa fitoplanctónica, en la zona costera del departamento del Magdalena, Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 39(2): 307-335.
- Guiry, M.D. y Guiry, G.M. 2021. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. URL: <https://www.algaebase.org>. Consultado: 04 de marzo 2021.

- Hasle, G.R. 1995. *Pseudo-nitzschia pungens* and *P. multiseriata* (Bacillariophyceae): nomenclatural history, morphology, and distribution. *Journal of Phycology* 31(1): 428-435.
- Hasle, G.R. 2002. Are most of the domoic-acid producing species of the diatom genus *Pseudo-nitzschia* cosmopolites? *Harmful Algae* 1(1): 137-146.
- Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P., Hooten, A.J., Steneck, R.S., Greenfield, P., Gomez, E., Harvell, C., Sale, P., Edwards, A., Caldeira, K., Knowlton, N., Eakin, C. M., Iglesias-Prieto, R., Muthiga, N., Bradbury, R., Dubi, A. y Hatzitolos, M. 2007. Coral Reefs Under Rapid 3te Change and Ocean Acidification. *Science* 318(5857): 1737-1742. Doi: <https://doi.org/10.1126/science.1152509>.
- Hoyos-Acuña, J.J., Salon-Barros, J.C. y Mancera Pineda, J.E. 2019. Aspectos morfológicos y primer registro del dinoflagelado *Pronoctiluca spinifera* en el Caribe colombiano. *Acta Biológica Colombiana* 24(2): 264-274.
- Incoder y Universidad Jorge Tadeo Lozano, seccional Caribe. 2014. Visión integral de los Archipiélagos de Nuestra Señora del Rosario y de San Bernardo. Parte I. En: *Ambiente y Desarrollo en el Caribe colombiano*. Universidad Jorge Tadeo Lozano, seccional Caribe, Bogotá.
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (Invemar). 2013. *Caracterización geológica, geomorfológica y oceanográfica del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo (PNNCRSB), Caribe colombiano, con énfasis en los procesos de erosión y sedimentación-Fase II. Informe Técnico Final*. Programa de Geociencias Marinas y Costeras.
- Käse, L. y Geuer, J.K. 2018. Phytoplankton responses to marine climate change—an introduction. En: Jungblut, S., Liebich, V. y Bode, M., Editores. *Youmares 8-Oceans Across Boundaries: Learning from each other*. Springer, Kiel.
- Lozano-Duque, Y., Vidal, L.A. y Gabriel, R.N.S. 2011. Lista de especies de dinoflagelados (Dinophyta) registrados en el mar Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 40(2): 361-380.
- Lozano-Duque, Y., Vidal, L.A. y Navas, G.R. 2010. Listado de diatomeas (Bacillariophyta) registradas para el mar Caribe Colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 39 (1049): 83-116.
- Lundholm N., Hansen P.J. y Kotaki Y. 2004. Effect of pH on growth and domoic acid production by potentially toxic diatoms of the genera *Pseudo-nitzschia* and *Nitzschia*. *Marine Ecology Progress Series* 273: 1-15.
- Meave-Del Castillo, M., Zamudio-Resendiz, M., Castillo-Rivera, M. 2012. Riqueza fitoplanctónica de la Bahía de Acapulco y zona costera aledaña, Guerrero, México. *Acta Botánica Mexicana* 100: 405-487.
- Mee, L.D., Cortes-Altamirano, R. y García de la Parra, L.M. 1984. Di-nitrogen fixation in a eutrophic tropical bay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 19(4): 477-483.
- Meichtry de Zaburlín, Peso N., Garrido G. y Vogler R.E. 2010. Sucesión espacio-temporal del plancton y bentos en periodos posteriores al llenado del embalse Yacretá (Río Paraná, Argentina-Paraguay). *Interciencia* 35(12): 897-904.
- Merino-Virgilio, F. del C., Okolodkov, Y.B., Aguilar-Trujillo, A.C., Osorio-Moreno, I. y Herrera-Silveira, J.A. 2014. *Florecimientos algales nocivos en las aguas costeras del norte de Yucatán (2001-2013). Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. Editores: A.V. Botello, J. Rendón von Osten, J. A. Benítez y G. Gold-Bouchot., golfo de México.
- Monroy, J., Castillo, F., Dagua, C., Arzuza, C. y Herrera, D. 2017. *Boletín Meteomarinero Mensual del Caribe Colombiano N.º 60*. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) y Dirección General Marítima (Dimar).
- Monroy, J., Pico, S., Dagua, C. y Herrera, D. 2018. *Boletín Meteomarinero Mensual del Caribe Colombiano N.º 71*. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) y Dirección General Marítima (Dimar).
- Moreira, A. 2013. Florecimiento de la diatomea potencialmente tóxica *Pseudo-nitzschia* cf. *multistriata* en aguas cubanas. *Revista de Investigaciones Marinas* 33(1): 27-30.
- Moreno, M., Pico, S., Dagua, C. y Herrera, D. 2019. *Boletín Meteomarinero Mensual del Caribe Colombiano N.º 83*. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) y Dirección General Marítima (Dimar).
- Morquecho, L., Alonso-Rodríguez, R., Arreola-Lizárraga, J. y Reyes-Salinas, A. 2012. Factors associated with moderate blooms of *Pyrodinium bahamense* in shallow and restricted subtropical lagoons in the Gulf of California. *Botánica Marina* 55(6): 611-623.
- Peña, V. y Pinilla, G.A. 2002. Composición, distribución y abundancia de la comunidad fitoplanctónica de la ensenada de

- Utría, Pacífico colombiano. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 37(1): 67-81.
- Pérez-Castresana, G., Villamizar, E., Varela, R. y Fuentes, Y. 2014. Descripción preliminar del fitoplancton en seis arrecifes coralinos del parque nacional archipiélago de los roques. *Acta Biológica Venezolana* 34(2): 293-309.
- Perry, C.T. y Alvarez-Filip, L. 2019. Changing geo-ecological functions of coral reefs in the Anthropocene. *Functional Ecology* 33(6): 976-988. Doi: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13247>.
- Pesantes, F. 1983. Dinoflagelados del fitoplancton del golfo de Guayaquil. *Acta Oceanográfica del Pacífico, INOCAR* 19(1): 150-192.
- Pineda, I., Martínez, L., Bedoya, D., Caparrosa, P. y Rojas, J. 2006. *Plan de manejo del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo*. Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales, Cartagena, Colombia.
- Parques Nacionales Naturales. 2019. *Plan de manejo Parque Nacional Natural los Corales del Rosario y de San Bernardo (2016-2021)*. Cartagena, Colombia.
- Racault, M.F., Raitsos, D.E., Berumen, M.L., Brewin, R.J.V., Platt, T., Sathyendranat, S. y Hoteit, I. 2015. Phytoplankton phenology indices in coral reef ecosystems: Application to ocean-color observations in the Red Sea. *Remote Sensing of Environment* 160: 222-234. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.01.019>.
- Ricaurte-Villota, C. y Bastidas-Salamanca, M.L. 2017. *Regionalización oceanográfica, una visión dinámica del Caribe*. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Invemar), Serie de Publicaciones Especiales de Invemar, Santa Marta.
- Romero-Rodríguez D., C. Peña-Mejía, A. Ordóñez-Zúñiga, C. Ricaurte-Villota y M. Bastidas-Salamanca. 2017. Región 6: Ciénaga Grande de Santa Marta, río Magdalena, Bolívar. 108-125. En: Ricaurte-Villota, C. y M.L. Bastidas-Salamanca (Eds.). 2017. *Regionalización oceanográfica: una visión dinámica del Caribe*. INVEMAR. Serie de Publicaciones Especiales, Santa Marta.
- Rodríguez, S.R. 2017. *Lineamientos institucionales para afrontar el clima cambiante desde las áreas protegidas*. Parques Nacionales Naturales de Colombia, Bogotá D.C.
- Taylor, T. 1976. *Dinoflagellates from the International Indian Ocean expedition*. Institute of Oceanography and Department of Botany, Vancouver.
- Thessen, A. 2005. Effect of salinity on *Pseudo-nitzschia* species (bacillariophyceae) growth and distribution. *Journal Phycology* 41: 21-29.
- Vidal, A. 1981. Diatomeas y dinoflagelados en las Islas del Rosario (arrecife coralino) y alrededores. *Boletín Científico CIOH* 3(5): 75-133.
- Vidal, A. 1995. *Manual del fitoplancton hallado en la Ciénaga Grande de Santa Marta y cuerpos de agua aledaños*. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta.
- Wetzel, R.G. y Likens, G.E. 2000. *Limnological Analyses*. 3.^a ed., Springer, New York.
- Yang, J.R., Yu, Z., Chen, H., Kuo, Y.M. y Yang, J. 2021. Structural and functional variations of phytoplankton communities in the face of multiple disturbances. *Journal of Environmental Sciences* 100: 287-297. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.07.026>.
- Zapata, F.A. 2017. Temporal dynamics of coral and algal cover and their potential drivers on a coral reef of Gorgona Island, Colombia (Eastern Tropical Pacific). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 41(160): 306. Doi: <https://doi.org/10.18257/raccefy.486>.
- Citar como:** Maldonado-Durán, J. Criales-Hernández M.I., Jerez-Guerrero, M. Valcarcel-Castellanos, V. 2021. Fitoplancton del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo durante los periodos de precipitación del 2016 a 2019. *Intropica* 16(2): 204 - 213 xxxx. Doi: <https://doi.org/10.21676/23897864.4006>.