

Caracterización de la Comunidad Fitoplanctónica del Parque Nacional Natural Corales del
Rosario y de San Bernardo en los Periodos de Precipitaciones de 2016 al 2019

Jainy Rocío Maldonado Durán

Trabajo de Grado para Optar el Título de Biólogo

Tutora

Maria Isabel Críales Hernández

Dr. rer nat

Co-tutor

Mauricio Jerez Guerrero

Biólogo

Universidad Industrial De Santander

Facultad De Ciencias

Escuela De Biología

Bucaramanga

2021

Agradecimientos

El desarrollo de este proyecto ha pasado por muchas facetas y altibajos. Ha sido una completa travesía para mí poder culminar con esta etapa. Poder darle finalización hoy, es el reflejo no solo de mis esfuerzos, sino el de varias personas que han logrado ayudarme.

Agradezco a la Universidad Industrial de Santander y los docentes de la escuela de biología no solo por sus enseñanzas académicas que fueron muchas, sino porque en aquellos momentos difíciles me brindaron calidad humana.

Al Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo por proveer el material de muestras hidrobiológicas con que se trabajó.

A Mauricio y Diana, tutores y personas incondicionales en todo mi proceso de aprendizaje en el área de hidrobiología. Gracias por estar siempre dispuestos a ayudar y enseñar.

A Dylan, la persona más incondicional que he conocido, capaz de sacar mis mejores cualidades en los momentos más difíciles. Gracias por no dejarme caer y ayudarme a continuar, el amor será para siempre.

A Jorge y Sara, fueron las mejores personas para vivir esta experiencia, qué fortuna haber vivido toda esta etapa a su lado. Espero que nunca paremos de crear recuerdos.

A Michelle, Segura y Yesika, gracias por haber estado ahí cuando hizo falta.

Finalmente, a mis padres y hermana, sin ellos nada de esto sería posible. Sus sacrificios y esfuerzos para mi educación y bienestar han sido tantos que nunca será suficiente el agradecimiento que les tengo. Infinitas gracias por ayudarme a cumplir esta meta y etapa de mi vida.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción.....	9
1. Objetivos	10
1.1 Objetivo General	11
1.2 Objetivos Específicos.....	11
1.3 Competencias.....	12
2. Cuerpo del Trabajo.....	12
2.1 Marco Referencial.....	12
2.1.1 Materiales y métodos.....	15
2.1.2 Resultados.....	18
2.1.2.1 Discusión.....	24
3. Conclusiones.....	26
4. Recomendaciones	27
Referencias Bibliográficas.....	28

Lista de Tablas**Pág.**

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 21
2. Estimación de la diversidad fitoplanctónica mediante los números de Hill. Riqueza (q_0); diversidad de orden 1 (q_1); diversidad de orden 2 (q_2). 24

Lista de Figuras

	Pág.
1. Ubicación del Parque Nacional Natural Los Corales del Rosario y de San Bernardo (Zona sombreada), donde se señalan las estaciones de muestreo (PB: Punta Brava, IA: Isla Arena, MC: Mojaculo, CP: Ciénaga El Pelao)	19
2. Fotografías en microscopio óptico de algunos géneros y especies representativos del PNNCRSB. a. <i>Chaetoceros affinis</i> b. <i>Tripos pentagonus</i> c. <i>Pyrodinium bahamense</i> d. <i>Trigonium formosum</i> var. <i>pentagonus</i> e. <i>Coscinodiscus granii</i> f. <i>Alexandrium</i> cf. <i>monilatum</i> g. <i>Dinophysis caudata</i> h. <i>Protoperidinium</i> sp i. <i>Thalassionema</i> sp j. <i>Pseudo-nitzschia</i> sp k. <i>Skeletonema costatum</i> l. <i>Thalassionema</i> sp m. <i>Coscinodiscus</i> sp	22
3. Rango de abundancias de la comunidad de fitoplancton (abundancia relativa = 90%) presente en el PNNCRSB en la temporada de precipitaciones durante cuatro años.....	24

Lista de Apéndices

Los apéndices están adjuntos y pueden ser visualizados en la base de datos de la biblioteca UIS.

Apéndice A. Taxonomía de las morfoespecies registradas durante los períodos de precipitaciones en el PNNCRSB durante los años 2016 a 2019.

Apéndice B. Abundancia relativa (%) de las morfoespecies registradas durante los períodos de precipitaciones en el PNNCRSB durante los años 2016 a 2019. Se muestran las especies únicas para cada año de estudio: ●, 2016; ▲, 2017; ■, 2018; ◆, 2019.

Apéndice C. Comparación de los nuevos registros en 3 bases de datos de reportes fitoplanctónicos para el Caribe colombiano de las especies identificadas durante los períodos de precipitaciones en el PNNCRSB durante los años 2016 a 2019.

Resumen

Título: Caracterización de la comunidad fitoplanctónica del Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo en los periodos de precipitaciones de 2016 al 2019^{1*}

Autor: Jainy Rocío Maldonado Durán, Maria Isabel Criales Hernandez, Mauricio Jerez Guerrero^{**}

Palabras Clave: Arrecife coralino, Caribe colombiano, Especies nocivas, diversidad

Descripción: El fitoplancton es el componente primario de los ambientes acuáticos marinos, siendo los mayores contribuyentes en la incorporación y captura de carbono atmosférico. En los arrecifes de coral tienen un papel fundamental ya que proveen de alimento a los corales y crean interacciones tróficas importantes en este ecosistema. A nivel mundial los arrecifes de coral sufren diferentes amenazas y el Parque Nacional Natural Los Corales del Rosario y de San Bernardo no es ajena a ellas, esta zona protegida se ve afectada durante la época de precipitaciones principalmente por descargas continentales. Por lo que este estudio intenta contribuir con nueva información de la comunidad fitoplanctónica registrada en el Área Protegida durante el período de precipitaciones. Se analizaron 16 muestras recolectadas en el periodo de precipitación entre el 2016 y 2019 en cuatro puntos dentro del área del parque correspondientes a diferentes ecosistemas, mediante arrastres horizontales con una red de 63 micras. Se encontraron 228 morfoespecies de fitoplancton, en donde todos los años las diatomeas (e.g. *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros affinis*, *Bacteriastrium furcatum*) fueron los organismos más abundantes, lo cual es lo esperado para estos sistemas marinos del Caribe, a excepción del 2018 que presentó una condición diferente, donde los dinoflagelados con potencial nocivo (e.g. *Pyrodinium bahamense*, *Alexandrium* cf. *monilatum*) fueron los que dominaron la comunidad. Se encontró un cambio en la diversidad de la comunidad de fitoplancton, particularmente en el año 2018, donde se observó el crecimiento de los dinoflagelados mencionados y la diatomea *Pseudo-nitzschia* sp., consideradas especies tóxicas, probablemente debido a la disminución de la transparencia de la columna de agua que favoreció estas floraciones.

^{1*} Trabajo de Grado

^{**} Escuela de Biología. Facultad de ciencias. UIS. Tutores: Dr. *rer nat* Maria Isabel Criales Hernandez, Mauricio Jerez Guerrero

Abstract

Title: Characterization of the phytoplankton community of the Corales del Rosario and San Bernardo National Natural Park in the rainfall periods from 2016 to 2019^{2*}

Author: Jainy Rocío Maldonado Durán³

Key Words: Coral reef, Colombian Caribbean, Harmful species, Diversity

Description: Phytoplankton are the main component of marine aquatic environments, where they are the largest contributors to the incorporation and capture of atmospheric carbon. In coral reefs, they play a fundamental role as they provide food for corals and create important trophic interactions in this ecosystem. At a global level, coral reefs suffer different threats, of which the coral zone of Los Corales del Rosario and San Bernardo National Natural Park knows very well, this protected area is affected during the rainy season mainly by continental spills. Therefore, this study tries to provide new information on the phytoplankton community registered in the Park in this rainy season. In the rainy season, 16 samples from four points of the park area corresponding to different ecosystems from 2016 to 2019 were analyzed, using horizontal trawls with a 63-micron net. Two hundred and twenty-seven phytoplankton morphospecies were found, where each year diatoms were the most abundant organisms (e.g. *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros affinis*, *Bacteriastrum furcatum*), which is expected for these Caribbean marine systems, with the exception of 2018, which presented a different condition, where the dinoflagellates (e.g. *Pyrodinium bahamense*, *Alexandrium* cf. *monilatum*) with harmful potential were those who dominated the community. A change was found in the diversity of the phytoplankton community, particularly in 2018, where the growth of the aforementioned dinoflagellates and the diatom *Pseudo-nitzschia* sp., considered toxic species, was observed due to the decrease in the transparency of the column of water that favored these blooms.

^{2*} Degree Work

³Escuela de Biología. Facultad de ciencias. UIS. Tutores: Dr. rer nat Maria Isabel Criales Hernandez, Co-tutor: Mauricio Jerez Guerrero

Introducción

Las comunidades fitoplanctónicas cumplen un papel crucial en la funcionalidad de los ecosistemas marinos, aportando al mantenimiento del equilibrio y la estabilidad de estos ambientes (Yang, Yu et al., 2021). Es así como, el fitoplancton es el principal productor primario, aportando el 50% de la productividad primaria global donde, por ejemplo, las diatomeas, representan aproximadamente el 40% de la Productividad Primaria Neta (NPP) (Ptacnik et al., 2008); (Takao et al., 2020). El fitoplancton tiene un rol en el ciclo del carbono donde anualmente incorpora alrededor de 50 mil millones de toneladas métricas de carbono en sus células durante la fotosíntesis, que a menudo es estimulada por el hierro a través del polvo arrastrado por el viento en las superficies de agua (Falkowski y Raven, 1997) y convierte el carbono inorgánico (CO₂) en materia orgánica: azúcares, aminoácidos y otras moléculas biológicas que componen sus células, aportando así en la captura del carbono atmosférico, mientras realiza sus funciones vitales (Falkowski, 2002).

Los sistemas de arrecife de coral se caracterizan por ser ambientes oligotróficos, pero con una alta diversidad de especies, al que se les atribuye uno de los ecosistemas con mayor productividad en el planeta (Stanca et al., 2013). Las comunidades del fitoplancton se localizan en la base de la red alimentaria del arrecife, apoyan el funcionamiento del mismo y proveen de alimento a los corales hermatípicos a través de las zooxantelas y la simbiosis que crean; influyendo así en las tasas de calcificación y en la proliferación larval de otras poblaciones en el arrecife (Racault et al., 2015; D'Angelo y Wiedenmann, 2014) Además, son fuente de alimento permanente para los demás organismos bentónicos que habitan en este ecosistema (Van Duyl et al., 2002). Es por esto que estudiar la abundancia y composición del fitoplancton puede reflejar los cambios en la masa de agua, ya que actúan como bioindicadores naturales importantes, a causa de su alta

sensibilidad y respuesta rápida a los cambios del ambiente como la temperatura, salinidad, pH, entre otros (Limbu y Kyewalyanga, 2015). Dichos cambios pueden ser causados por procesos naturales o antrópicos, ocasionado en parte por el incremento de poblaciones costeras, la acidificación y calentamiento de los océanos a nivel global, la escorrentía continental y de aguas residuales que aumentan los nutrientes desestabilizando el ambiente coralino y proveyendo un exceso de nutrientes (Pérez-Castresana, 2014) (Zapata, 2017). Es así como de forma indirecta, el fitoplancton puede indicar el estado de los arrecifes de coral (Ke et al., 2018).

El Parque Nacional Natural Corales del Rosario y San Bernardo (PNNCRSB) es considerado una zona protegida de alta importancia ecológica para el Caribe colombiano por su alto valor paisajístico, económico y natural (Rodríguez, 2017). Esta hidrográficamente condicionado por el desplazamiento de la ZCIT y por los vientos Alisios a lo largo del año (Ricaurte-Villota y Bastidas-Salamanca, 2017). Sin embargo, 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), En otras zonas del Caribe colombiano se han llegado a identificar 337 taxones de diatomeas y 186 taxa de dinoflagelados, con rango de tallas que varía entre 0,2 μm y 200 μm (Lozano-Duque et al., 2010; Lozano-Duque et al., 2011) y para El Parque Nacional Natural Corales de Profundidad (Bolívar, Colombia) se identificó recientemente un total de 74 taxa fitoplanctónicos (Fonseca-Barreto y García, 2020).

Es por esto que la presente propuesta de investigación busca proporcionar conocimiento de línea base, describiendo la composición y diversidad de la comunidad fitoplanctónica presente en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo durante los períodos de precipitación del 2016 al 2019, contribuyendo al entendimiento de las comunidades planctónicas marinas, en beneficio de la protección y conservación de estos importantes ecosistemas marinos.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Caracterizar la composición comunitaria del fitoplancton presente en el Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo en los periodos de precipitación del 2016 al 2019.

1.2 Objetivos Específicos

Identificar hasta el nivel taxonómico más bajo posible los organismos fitoplanctónicos presentes en el PNNCRSB durante los periodos de estudio.

Describir la composición y diversidad de la comunidad del fitoplancton presente en el PNNCRSB durante los periodos de estudio.

Relacionar las variables oceanográficas con los descriptores biológicos de la comunidad del fitoplancton presente en el PNNCRSB.

1.3 Competencias

Hace uso correcto y apropiado de diferentes claves taxonómicas para la identificación del fitoplancton.

Adquiere destreza en el uso de cámaras fotográficas de microscopia para la captura de imágenes fitoplanctónicas haciendo uso correcto de equipos especializados.

Emplea los protocolos de laboratorio diseñados para el manejo de material fitoplanctónico.

Diligencia adecuadamente el formato Darwin Core para la recopilación de datos y el uso de las mismas.

Refuerza la redacción de manuscritos enfocados en la elaboración de descripciones y análisis de muestras fitoplanctónicas.

Integrar los conocimientos adquiridos en el análisis de datos para alcanzar los objetivos planteados.

2. Cuerpo del Trabajo

2.1 Marco Referencial

Fitoplancton

Son organismos unicelulares y microscopios que se encuentran ampliamente en ambientes marinos y de agua dulce, y tienen una tasa de crecimiento rápida y de vida corta (Henson et al., 2021). Como productor primario dominante, el fitoplancton es la base de las redes alimentarias y aportando el 50% del oxígeno mundial, realizando la fijación de la mitad del carbono del mundo, lo que convierte a esta comunidad en un componente de gran importancia biológica y objeto de interés de estudio (Mercado, 2002).

Diatomeas

Son algas unicelulares con vestigios de silicio y a diferencia de casi todos los representantes del fitoplancton, no tienen flagelo, por lo cual en la mayoría de los casos no tienen locomoción y pueden encontrarse flotando en la columna de agua o adheridos a superficies ya sea individualmente o en cadenas de células. En cuanto a su forma de vida, generalmente son solitarias, aunque pueden vivir en colonias, formando cadenas o agregados. (Illana, 2008). La pared celular de sílice (dióxido de silicio hidratado), se denomina frústula y su función principal es la de darle protección a la célula (Obata et al., 2013).

Son los principales contribuyentes a la producción primaria especialmente en aguas costeras. Se suelen encontrar todos los ecosistemas marinos, pero son más abundantes en aguas frías y ricas en nutrientes (Montecino y Pizarro, 2006), debido a que las diatomeas requieren de silicatos, que son empleados para formar su pared celular y pueden llegar a representar hasta la mitad del peso seco de toda la célula (Lora et al., 2020). Es por ello que las diatomeas son las principales responsables del reciclaje de silicio en los océanos, así como en las zonas costeras, en

donde, son sensibles a la disponibilidad de silicato, otros nutrientes como el nitrógeno y el fosfato, la estabilidad del agua y cambios lumínicos. (Hansen y Málikov, 2003; Meave-del Castillo et al., 2012). Es por ello que, la composición de especies de estos organismos pueden responder rápidamente a los cambios de acuerdo a las características físico-químicas del agua (Hernández, 2016).

Dinoflagelados

Estos organismos son un grupo de algas unicelulares considerados los más abundantes y diversos en ambientes marinos después de las diatomeas, considerados cosmopolita y pudiendo ser planctónicos o bentónicos, comúnmente asociados a macroalgas, pastos marinos, sedimentos y arrecifes de coral (Mancera-Pineda, 2014). Poseen dos flagelos, uno adherido en el medio de la célula, empleado para rotación, y otro para propulsión (Suthers, 2009). Sus tallas están entre 0,2 μ a 2 mm y en ocasiones pueden presentar estructuras en su morfología como aletas, cuernos o espinas (Hernández-Sandoval, 2011). Dentro de este grupo, la mayoría están provistos de una cubierta rígida llamada teca y se suelen conocer como dinoflagelados tecados o armados (Parra-Toriz et al., 2010). Estos organismos presentan la particularidad de que producen quistes como una estrategia de supervivencia (Blanco, 1989). Son metabólicamente versátiles ya que, pueden hacer fotosíntesis, parásitos o simbióticos, absorber materia orgánica o ingerir partículas (Gómez et al., 2011).

Hay alrededor de 50 especies productoras de diferentes tipos de toxinas que al momento de proliferación en ambientes que los favorecen pueden causar problemas de salud pública, siendo nocivos para otras especies de la cadena trófica e incluso en diversos casos para los humanos (Mancera-Pineda, 2014; Rojas-Alfaro et al., 2019). Es por eso que, se encuentran en constante monitoreo por su tendencia a producir Floraciones de Algas Nocivas (FAN) o más comúnmente

conocidas como “Mareas rojas”, que se desarrollan debido a una mayor proliferación de ciertas microalgas en condiciones ambientales favorables que le permiten tener concentraciones significativamente altas en la columna de agua (Carreto, 1989). Las consecuencias en los ecosistemas son el deterioro de la calidad del agua, la asfixia de peces, macroinvertebrados marinos y otras especies de la cadena alimentaria, así como afectaciones que pueden llegar a los seres humanos debido a la producción de diversas toxinas contaminando especies que son alimento de las personas (Telesh, 2021; Quintana-M y Mercado-Gómez, 2017).

El fitoplancton y las variables hidrológicas

El cambio de los patrones de circulación, la sedimentación, la temperatura de la columna de agua y la disponibilidad de alimento, son variables que afectan directamente la composición y abundancia de las comunidades acuáticas, dentro de ellas el plancton, dando como resultado alteraciones en el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos (Meichtry de Zamburlín et al., 2010). Una de las variables más significativas es la temperatura, ya que actúa sobre el plancton a un nivel fisiológico, regulando el metabolismo y, por lo tanto, las tasas de crecimiento y desarrollo (Carter y Schindler, 2012; Ibarbalz et al., 2019).

La cantidad de precipitación anual es uno de los factores que impulsa los aportes de nitrógeno y la biomasa del fitoplancton (Morabito et al, 2018). Las precipitaciones pueden generar una alta descarga en los ríos por lo que los compuestos orgánicos que derivan de estos son transportados hasta la zona costera donde impulsan el crecimiento de diatomeas y dinoflagelados, así como pueden también causar las floraciones de marea roja (Valiela, 2015)

En Colombia

La comunidad fitoplanctónica en Colombia, específicamente para la zona Caribe, ha sido ampliamente estudiada. Los listados de especies de diatomeas y dinoflagelados realizados por

Lozano-Duque et al. (2010; 2011) representan la principal referencia para la composición de organismos fitoplanctónicos para todo el Caribe, generando una gran trayectoria de actualización de estas especies para nuestro país que estos autores iniciaron desde 1981.

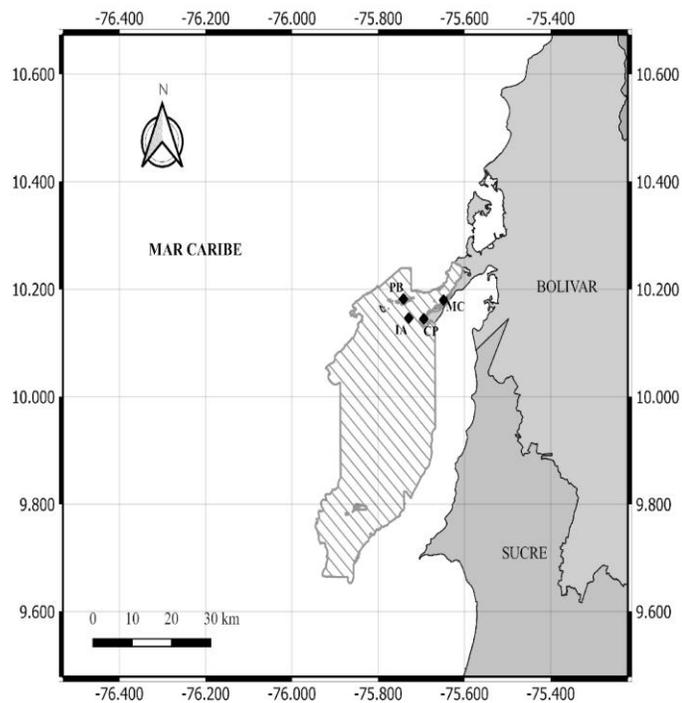
En la actualidad la mayoría de estudios se encuentran como literatura gris. Por ejemplo, Campos-González (2007), realizó una caracterización del fitoplancton de las Islas de Providencia y Santa Catalina; Torres (2007), describió la comunidad fitoplanctónica en un evento de surgencia en la costa del departamento de Magdalena. Vargas-Castellanos (2008), presentó la distribución horizontal y vertical del fitoplancton en Islas de Providencia y Santa Catalina. Aun así, existen investigaciones importantes para el Caribe colombiano. Ramírez-Barón (2010) estudió la comunidad fitoplanctónica durante eventos de surgencia y no surgencia en el Magdalena reportando una estructura comunitaria típica de aguas de afloramientos ocasionales. Vidal et al. (2017), realizaron un estudio sobre diatomeas asociadas a macroalgas. Arbelaez, Mancera y Reguera (2017), analizaron los dinoflagelados epífitos de *Thalassia testudinum* en dos sistemas costeros del Caribe colombiano. Hoyos-acuña et al. (2019) realizaron una publicación titulada: “Aspectos morfológicos y primer registro del dinoflagelado *Pronoctiluca spinifera* en el Caribe colombiano”. Mas recientemente, Fonseca-Barreto y Garcia (2020) analizaron la estructura de ensamblaje y estacionalidad del fitoplancton mesofótico en el Parque Nacional Natural Corales de Profundidad, donde encontraron una variabilidad interanual y a los géneros *Chaetoceros* sp. y *Bacteriatrum* sp. significativamente dominantes en la estación seca y un aumento de la productividad primaria en la temporada de lluvias, posiblemente por las descargas de zonas continentales en esta época del año.

2.1.1 Materiales y métodos

El presente trabajo se desarrolló a partir de 16 muestras donadas por el PNNCRSB 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), las muestras fueron recolectadas en un monitoreo anual de cuatro estaciones durante los periodos de precipitación (noviembre) de 2016, 2017, 2018 y 2019 (Figura 1). En cada estación, se estimó la transparencia de la columna de agua utilizando un disco secchi. La temperatura superficial, salinidad y pH fueron registradas con una sonda multiparamétrica marca HACH (temperatura: \mp 0.3 °C y mV: 0.1 mV). Se estimaron las concentraciones de clorofila α para cada estación, mediante imágenes de satélite correspondientes al promedio semanal de noviembre de cada año de estudio 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). Se obtuvieron valores de precipitación acumulada mensual de cada uno de los años de estudio para el mes de noviembre, a partir de los Boletines Meteorológicos 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; Monroy et al., 2018; Moreno et al., 2019). La recolección de las muestras biológicas fue realizada mediante arrastres horizontales usando una red estándar de 30 cm de diámetro y malla de 63 μ m, las muestras fueron fijadas en lugol y formol al 4% (Ferrario, et al., 1995).

Figura 1.

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



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; Balech, 1984; Pesantes, 1983; Taylor, 1976; Vidal, 1995; Dimar-CIOH, 2011), siguiendo las actualizaciones taxonómicas de Guiry y Guiry

(2021) y se tomaron microfotografías con una cámara Axiocam ERc 5s. Se realizó el conteo de morfo especies mediante una cámara Sedgwick-Rafter de 1 mL, usando un microscopio invertido Primovert Zeiss, los conteos se hicieron hasta 400 individuos de las morfoespecies más abundantes, condición que aseguró un límite de confiabilidad del 90 % (Wetzel y Likens, 2000). Posteriormente, se calculó la abundancia relativa con el total de células encontradas por cada muestra.

Para observar la estructura de la comunidad de fitoplancton, se realizaron gráficos de rango/abundancia de Whittaker para cada uno de los años. 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 (Chao y Jost, 2012), además de estimar la representatividad del muestreo con los estimadores no paramétricos de riqueza (Colwell y Coddington, 1994). Se evaluó si existían diferencias entre los años de estudio para las variables biológicas e hidrológicas aplicando una prueba de ANOVA de una vía y Kruskal-Wallis (KW) dependiendo de la distribución presentada. Para determinar si existía relación entre la abundancia relativa de la comunidad de fitoplancton y las variables hidrológicas, se realizaron correlaciones de Pearson. Estos análisis se realizaron en los programas R Studio y Primer v7.

2.1.2 Resultados

Las variables hidrológicas, no presentaron diferencias significativas entre los años de estudio ($p > 0,05$). La temperatura superficial presentó valores entre 29 °C y 31,4 °C (ANOVA $> 0,05$). En la salinidad se observaron valores entre 27,25 y 36,8 (ANOVA $> 0,05$). El pH presentó valores entre 6,32 y 8,46 (KW $> 0,05$). La transparencia durante los años de estudio se encontró entre 2,40 m y 10 m (ANOVA $> 0,05$), y la clorofila *a* presentó valores entre 0,58 mg/m³ 5,88 mg/m³ y (ANOVA $> 0,05$). Por último, los valores que reporta el boletín del CIOH de la

precipitación acumulada mensual registró el valor máximo en el año 2016 (320 mm), y el valor mínimo en el año 2019 (25 mm) (Tabla 1).

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.

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-a (mg/m3)**	3,66±2,22	2,76±1,80	1±0,26	0,75±0,19

*Precipitación acumulada mensual a partir de datos extraídos de los boletines mensuales del CIOH.

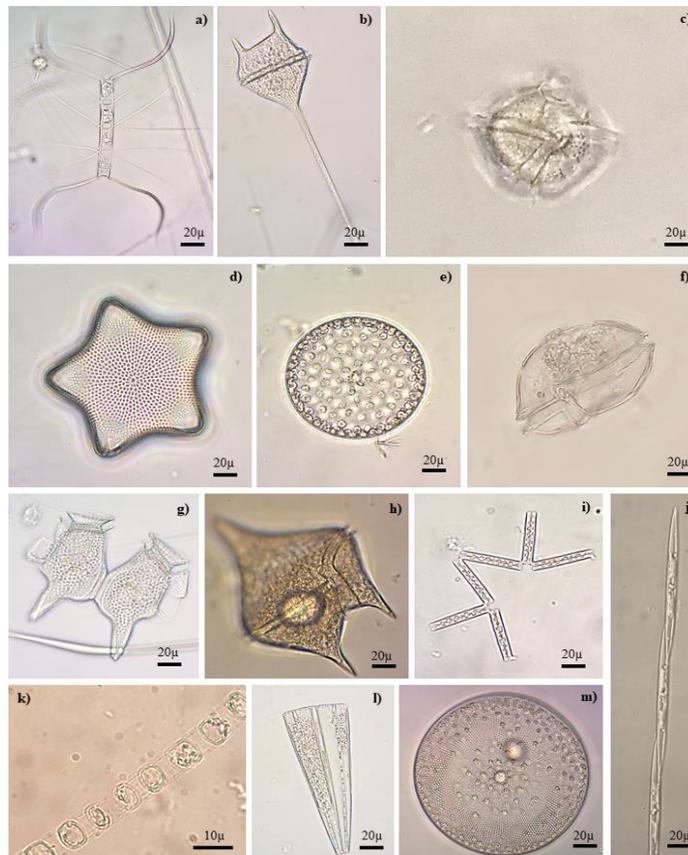
**Clorofila *a* calculada a partir de datos satelitales de la plataforma Giovanni de la NASA.

Se identificó un total de 227 morfoespecies de fitoplancton en los cuatro años de estudio; las especies se distribuyeron en cinco phyla, ocho clases, 56 familias y 84 géneros. El phylum con mayor número de morfoespecies fue Bacillariophyta (163 morfoespecies), seguido por Miozoa (59 morfoespecies), Cyanobacteria (3 morfoespecies), Ochrophyta (2 morfoespecies) y Charophyta (1

morfoespecie). Del total de morfoespecies, 44 se identificaron hasta el nivel de especie (e.g. *Podocystis adriatica* (Ralfs, 1861), *Podolampas bipes* (Stein, 1883), *Protoperidinium conicum* (Balech, 1974), además, se identificó hasta el nivel de variedad a *Trigonium formosum* var. *pentagonale* (Desikachary y Prema, 1987) (Apéndice a, Figura 2).

Figura 2.

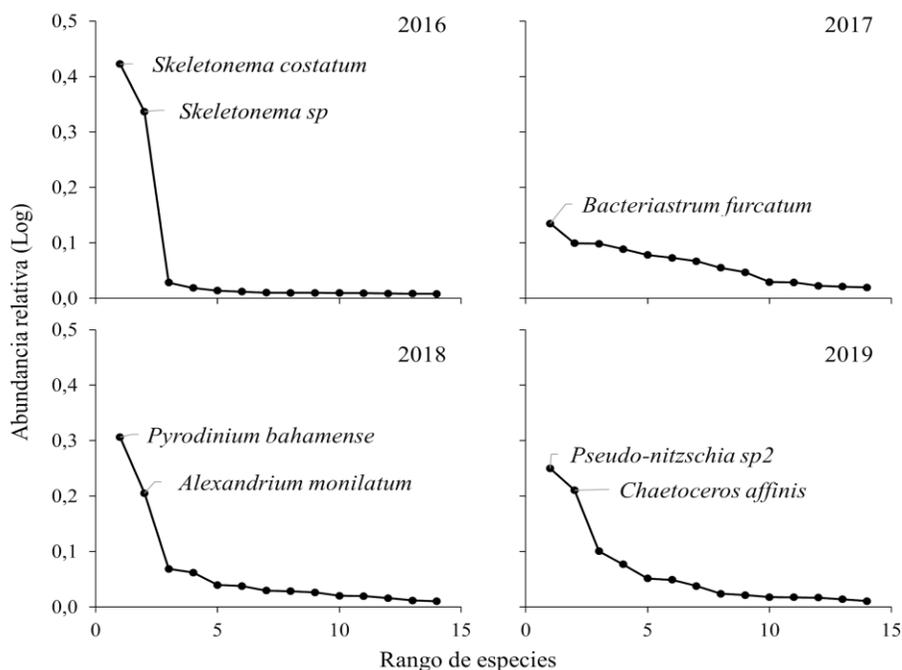
Fotografías en microscopio óptico de algunos géneros y especies representativos del PNNCRSB. a. *Chaetoceros affinis* b. *Tripes pentagonus* c. *Pyrodinium bahamense* d. *Trigonium formosum* var. *pentagonus* e. *Coscinodiscus granii* f. *Alexandrium* cf. *monilatum* g. *Dinophysis caudata* h. *Protoperidinium* 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.



El año que presentó la mayor abundancia relativa fue 2017 con un valor promedio de 12,5 %, la mayor abundancia fue aportada por las diatomeas *Bacteriastrum furcatum* (Shadbolt, 1854), *Skeletonema costatum* (Cleve, 1900) y *Thalassionema* sp.; seguido por el año 2018 con valor promedio de 9,913 %, siendo los dinoflagelados *Alexandrium* cf. *monilatum* (Balech, 1995) y *Pyrodinium bahamense* (Plate, 1906) quienes más aportaron a la abundancia relativa (Apéndice b, Figura 3). El año 2016 presentó un valor promedio de 8,168 % donde las diatomeas *Skeletonema costatum* y *Skeletonema* sp. fueron las que más aportaron a la abundancia relativa, y por último el año 2019 presentó el menor valor promedio de abundancia relativa con 6,983 %, donde las diatomeas *Pseudo-nitzschia* sp.2 y *Chaetoceros affinis* (Lauder, 1864) fueron quienes más aportaron a la abundancia (Apéndice b, Figura 3).

Figura 3.

Rango de abundancias de la comunidad de fitoplancton (abundancia relativa = 90%) presente en el PNNCRSB en la temporada de precipitaciones durante cuatro años.



La diversidad en el año 2019 obtuvo la riqueza ($q=0$) más alta (159 especies), seguido de 2016 (158 especies), 2018 (122 especies) y 2017 (121 especies) (Tabla 2). 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 (Tabla 2). 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 de diversidad presentó diferencias significativas para los años de estudio ($p > 0,05$). Respecto a los estimadores de riqueza no paramétricos que se analizaron todos presentaron valores de representatividad mayores al 90%. (Bootstrap: 97%, Jacknife 1: 100% y Jacknife 2: 94%)

Tabla 2.

Estimación de la diversidad fitoplanctónica mediante los números de Hill. Riqueza (q_0); diversidad de orden 1 (q_1); diversidad de orden 2 (q_2).

	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

Del total de morfoespecies identificadas en los cuatro años de estudio, 98 fueron compartidas por lo menos por dos años, y 64 morfoespecies entre todos los años del periodo de estudio (Apéndice b). Se encontró que el 14,55% del total de morfoespecies fueron registros únicos en el 2016 (e.g. *Trigonium arcticum* (Cleve, 1868), *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 (Stein, 1883), *Tripos horridus* (Gómez, 2013), *Diploneis* sp.1), y 16,35% en el 2019 (e.g. *Pseudo-nitzschia* sp.2, *Dictyocha* sp.2) (Apéndice b).

La relación entre la abundancia relativa del fitoplancton y las variables hidrológicas solo mostró una correlación significativa positiva entre la abundancia y 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 ($r=-0,001$, $p=0,995$).

2.1.2.1 Discusión.

Según los listados de especies de diatomeas y dinoflagelados publicados en el 2010 y 2011 (Lozano-Duque et al., 2010; 2011), este trabajo representa una nueva contribución en la revisión de las especies presentes en cuatro años de estudio de la comunidad de fitoplancton durante la época de precipitaciones del 2016 al 2019 presentando el registro de la variedad *Trigonium formosum* var. *pentagonus*. Este trabajo 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) (Apéndice c).

Los 84 géneros encontrados en el presente trabajo, corresponden a especies representativas de aguas someras y costeras del Caribe colombiano (Lozano-Duque et al., 2010; 2011). En lo que concierne a las especies, los estudios en el Caribe colombiano en condiciones normales reportan una mayor dominancia de diatomeas (e.g. *Skeletonema* sp., *Bacteriastrum* sp.), seguido de los dinoflagelados (e.g. *Protoperidinium* sp., *Tripos* sp.), similar a lo encontrado en este trabajo durante el 2016, 2017, y 2019 (García-Hoyos et al., 2010; Coronado-Franco et al., 2018). Sin embargo, el 2018 presentó una mayor abundancia relativa de dinoflagelados, posiblemente como consecuencia

de un incremento de nutrientes y descargas de la zona costera que favorecieron estos afloramientos durante este periodo (Arias y Durán, 1984; Pineda, 2019).

Respecto a la diversidad, Lozano-Duque et al. (2010) estudiaron la comunidad fitoplanctónica en un crucero por toda la costa Caribe colombiana, obteniendo valores de diversidad para esta área de Shannon-Wiener entre 1,08 y 4,05, donde en la estación EH264 que es la más cercana al PNNCRSB reportaron un valor de 2,7 para este índice. Al transformar la diversidad de Hill del presente estudio, se obtienen valores entre 2,4 y 3,1 de los 4 años estudiados, coincidiendo así con lo reportado para la zona.

El fitoplancton de zonas costeras generalmente se ve influenciado por las condiciones meteorológicas y las condiciones de esta zona, por lo que la presencia de algunos géneros se debe a las condiciones propias de cada año. En lo que se refiere a géneros como: *Skeletonema* sp., *Bacteriastrium* sp., *Chaetoceros* sp., *Tripos* sp., y *Amphora* sp., registrados en los años 2016, 2017 y 2019, han sido reportados en zonas someras y costeras asociados a condiciones de bajas salinidades con aportes de aguas continentales en periodos de altas precipitaciones (Franco-Herrera et al., 2006; Peña y Pinilla, 2002; Santra y Choudhury, 1991)

El género *Pseudo-nitzschia* es una diatomea pennada cosmopolita (Hasle, 1995; 2002), que puede estar en ambientes oceánicos y costeros. Esta especie puede aumentar su número en abundancia cuando las salinidades aumentan, y al compararlo con nuestros resultados, presentó la abundancia relativa más alta en 2019, que fue el año con menores valores de precipitación, lo cual favoreció que apareciera una mayor concentración de ellas. Este género es influenciado por la eutrofización de las aguas y comprende más de 30 especies, de las cuales once son potencialmente tóxicas (Lundholm et al., 2003; Moreira, 2013), A pesar que se encuentra reportado para el Caribe colombiano, no se tiene claridad sobre sus tasas de abundancia y la producción de ácido

domoico (AD) que es su agente tóxico y su potencial para generar florecimientos algales nocivos (FAN), especialmente en temporadas de precipitaciones.

El género *Pyrodinium bahamense* se ha reportado como una especie tropical, siendo causante de las floraciones algales nocivas (FAN) más críticas que hay, potencialmente tóxica, siendo productor de un perfil de saxitoxinas que usualmente puede llegar a encontrarse en florecimientos algales durante las temporadas de precipitaciones, particularmente asociado a zonas costeras y lagunas con bosques de manglar (Meave-de Castillo et al., 2012; Morquecho et al., 2012; 2019, Merino-Virgilio et al., 2014). De manera similar, *Alexandrium 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, en el Mar Caribe, Venezuela y Costa Rica y tiene altos requerimientos de nitrógeno que se asocian con la temporada lluviosa, cuando las condiciones son óptimas para la especie y su crecimiento (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, similar a lo encontrado por otros autores (Band-Schmidt et al., 2011; Calvo-Trujillo et al., 2018), que los reportan como principales compuestos que influyen en los florecimientos algales de estas especies.

3. Conclusiones

Este trabajo representa una aproximación a la comunidad de fitoplancton en el área marina protegida PNNCRSB después de once años, reportando nuevos registros para el GBIF y SiB Colombia, así como una variedad para el área según el listado de especies más reciente, y la presencia de especies potencialmente nocivas como *P. bahamense*, *A. cf. monilatum* y *Pseudo-*

nitzschia sp. Se observó un cambio en la diversidad de la comunidad de fitoplancton a lo largo de los cuatro años durante la temporada de precipitaciones, con la presencia de especies propias de esta temporada. Se observó un incremento inusual para esta área de las abundancias relativas de los dinoflagelados durante el año 2018.

4. Recomendaciones

Es importante que se continúe con el monitoreo de esta área marina protegida donde se incluya la temporada de bajas precipitaciones, con el propósito de evaluar el potencial de proliferación nociva de ciertas especies, y prevenir efectos negativos que se puedan generar asociados a microalgas tóxicas, asimismo es importante ampliar los métodos de muestreo usando botellas para la recolección de muestras y así permitir análisis más robustos y adecuados para este tipo de organismos.

Referencias Bibliográficas

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), y Water Environment Federation (WEF). 2012. Standard Methods for examination of water and wastewater (22nd edition). American Public Health Association, Washington D.C.
- Arbelaez, N., Mancera, J., Reguera, B. (2017). Dinoflagelados epífitos de *Thalassia testudinum* en dos sistemas costeros del Caribe colombiano. Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras. 46(2),9-40. 507 <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2017.46.2.725>
- Arias, F. A. y Duran, F. (1984). Variación anual del fitoplancton en la Bahía de Cartagena, Boletín Científico CIOH, (5), pp. 61-116. Doi: 10.26640/01200542.5.61_116
- Balech, E., Akselman, R., Benavides, H., Negri, R. (1984). Suplemento a los dinoflagelados del Atlántico Sudoccidental. Revista de Investigación y Desarrollo Pesquero. INIDEP, Mar del Plata, N° 4: 5-20.
- 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. Hidrobiologica, 21 (3), pp. 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), pp. 63–82. Doi: 10.25268/bimc.invemar.2018.47.2.747

- Campos-González, E. (2007). Fitoplancton de las Islas de Providencia y Santa Catalina, Caribe colombiano. *Biología Marina*. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Castillo, F., Carrillo, A., Herrera, G., Dagua, C., Guzman, A. y Herrera, D. (2016). Boletín Meteomarinero Mensual del Caribe Colombiano N° 47. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) y Dirección General Marítima (Dimar).
- Chao, A. y Jost, L. (2012). Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology*, 93, 2533–2547
- Colwell, R. K. y Coddington, J. A. (1994) Estimating terrestrial biodiversity through 583 extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society (Series B)*, 345: 101-584 118. Doi: 10.1098/rstb.1994.0091
- Coronado-Franco, K. V., Selvaraj, J. J. y Mancera Pineda, J. E. (2018). Algal blooms detection in Colombian Caribbean Sea using MODIS imagery. *Marine Pollution Bulletin*, 133. doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.06.021.
- Cupp, E. (1943). Marine plankton diatoms of the west coast of North America. *UC San Diego Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography*. 594 <https://escholarship.org/uc/item/922945w8>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.029>
- 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), pp. 59–73. doi: 10.7773/cm.v40i1.2345

- 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. Ed Dimar, Serie de Publicaciones Especiales CIOH Vol 5. Cartagena de Indias, Colombia.
- Falkowski, P. (2002). Invisible Ocean's. *Scientific American* pp. 54–61. Doi: 10.1038/scientificamerican0802-54
- Falkowski, P. y Raven, J. (1997). *Aquatic Photosynthesis*. Princeton University Press 3:259–265
- Ferrario, M. E., Sar, E. A. y Sala, S. E. (1995). Metodología básica para el estudio del fitoplancton con especial referencia a las diatomeas, En: *Manual de Métodos Ficológicos*. Concepción, Chile.
- Fonseca-Barreto, C. J., y García, C. B. (2020). Assemblage Structure and Seasonality of Mesophotic Phytoplankton of Corales de Profundidad National Natural Park, Colombian Caribbean. *Caribbean Journal of Science*, 50(1), 188. <https://doi.org/10.18475/cjos.v50i1.a19>
- 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), pp. 24–38.
- Gómez, F., Moreira, D. y López-García, P. (2011). Avances en el estudio de los dinoflagelados (Dinophyceae) con la filogenia molecular. *Hidrobiológica*, 21 (3), 343-364.
- Guiry, M.D. & Guiry, G.M. (2021). *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>
- Hasle, G. R. 2002. Are most of the domoic-acid producing species of the diatom genus *Pseudo-nitzschia cosmopolites*?. *Harmful Algae* 1: 137-146.

- Hansen, I. y Málikov, I. (2003). Comportamiento de diatomeas y dinoflagelados en la Bahía de Tumaco bajo la influencia de cambios climáticos durante el período 1995-2000. *Boletín Científico CCCP*, 9, 22-33.
- Hasle, G.R. 1995. *Pseudo-nitzschia pungens* and *P. multiseriata* (Bacillariophyceae): nomenclatural history, morphology, and distribution. *Journal of Phycology* 31: 428-435. Doi:
- Henson, S.A., Cael, B.B., Allen, S.R. (2021). Future phytoplankton diversity in a changing climate. *Nat Commun* 12, 5372.
- Hoyos-Acuña, J. J., Salon-Barros, J. C., y Mancera Pineda, J. E. (2019). Aspectos morfológicos y primer registro del dinoflagelado *Prorocentrum spiniferum* en el Caribe colombiano. *Acta Biológica Colombiana*, 24(2), 264–274. <https://doi.org/10.15446/abc.v24n2.70179>
- Illana, C. (2008) Usos industriales de las algas diatomeas. *Quercus* 267.
- Ke, Z., Tan, Y., Huang, L., Liu, H., Liu, J., Jiang, X., & Wang, J. (2018). Spatial distribution patterns of phytoplankton biomass and primary productivity in six coral atolls in the central South China Sea. *Coral Reefs*, 37(3), 919–927. <https://doi.org/10.1007/s00338-018-1717-7>
- Limbu, S. M., & Kyewalyanga, M. S. (2015). Spatial and temporal variations in environmental variables in relation to phytoplankton composition and biomass in coral reef areas around Unguja, Zanzibar, Tanzania. *SpringerPlus*, 4(1).
- Lora, M., López, F. y Perez, C. (2020) *Aguas de Cristal: Las diatomeas*. Recursos Naturales y Sociedad, 2020. Vol. 6 (1): 25-42
- 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), pp. 83–116.

- Lozano-Duque, Y., Vidal, L. A. y Navas, G. R. 2010. La comunidad fitoplanctónica en el mar Caribe colombiano. Pp (87-118). En INVEMAR (Eds.) Biodiversidad del margen continental del Caribe colombiano. Serie de Publicaciones Especiales, Invemar No. 20 p. 4588
- Lozano-Duque, Y., Vidal, L. A., & 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.
- Lund, J., Kipling, C., Cren, E. (1958). The Inverted Microscope Method of Estimating Algal Numbers and the Statistical Basis of Estimations by Counting. Freshwater Biological Association, The Ferry Huse, Ambleside. Westmorland, England. 143–170.
- Montecino, V. y Pizarro, G. (2006). Productividad primaria, biomasa y tamaño del fitoplancton en canales y fiordos australes: patrones primavera-verano. Comité Oceanográfico Nacional - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, pp. 93-97, 2006.
- Meave-Del Castillo, M., Zamudio-Resendiz, M., Castillo-Rivera, M. (2012). Riqueza fitoplanctónica de la Bahía de Acapulco y zona costera aledaña, Guerrero, Mexico. Acta Botanica Mexicana 100: 405-487. Doi: 10.21829/abm100.2012.41
- Mee, L. D., Cortes-Altamirano, R. y Garcia-de-la-Parra, L. M. (1984). Di-nitrogen fixation in a eutrophic tropical bay. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 19(4), pp. 477–483. doi: 10.1016/0272-7714(84)90098-2
- Mercado, J. (2002) ecofisiología y bomba biológica en el océano. Interciencia. Vol. 27 No. 10. pp. 537-543
- Merino-Virgilio, F. del C., Y. B. Okolodkov, A. C. Aguilar-Trujillo, I. Osorio-Moreno, y J. A. Herrera-Silveira, (2014). Florecimientos algales nocivos en las aguas costeras del norte de

- Yucatán (2001-2013) p. 161-180. En: 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 Meteomarino Mensual del Caribe Colombiano N° 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 Meteomarino Mensual del Caribe Colombiano N° 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 Vol. 33, No. 1.
- Moreno, M., Pico, S., Dagua, C. y Herrera, D. (2019). Boletín Meteomarino Mensual del Caribe Colombiano N° 83. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH) y Dirección General Marítima (Dimar).
- Morquecho, L., Alonso-Rodriguez, 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. *Botanica Marina*; 55(6): 611–623 Doi: 0.1515/bot-2012-0171
- Obata, T., A. R. Fernie y A. Nunes-Nesi. 2013. The central carbon and energy metabolism of marine diatoms. *Metabolites* 3: 325-346.
- 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 Biologica Venezuelana*. Vol. 34(2):293-309.

- Pesantes, F. (1983). Dinoflagelados del fitoplancton del Golfo de Guayaquil. *Acta Oceanográfica del Pacífico*. INOCAR, Ecuador, 19(1).
- Pineda, I., Martínez, L., Bedoya, D., Caparroso, P. y Rojas, J. (2019). 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.
- Ptácnik, R., Solimini, A. G., Andersen, T., Tamminen, T., Brettum, P., Lepistö, L., ... Rekolainen, S. (2008). Diversity predicts stability and resource use efficiency in natural phytoplankton communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(13), 5134–5138.
- Quintana-M, H., y Mercado-Gómez, J. (2017). Composición de dinoflagelados epífitos y forófitos en la Costa norte del golfo de Morrosquillo, Sucre, Colombia. *Revista Colombiana De Ciencia Animal - RECIA*, 9(2)
- Racault, M. F., Raitsos, D. E., Berumen, M. L., Brewin, R. J. W., Platt, T., Sathyendranath, S., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.01.019>
- Ramírez-Barón, J., Franco-Herrera, A., García-Hoyos y Diego Alejandro López. (2010). la comunidad fitoplanctónica durante eventos de surgencia y no surgencia, en la zona costera del departamento del Magdalena, Caribe colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost*, 39 (2), 233-263.
- Ricaurte-Villota, C., & Bastidas-Salamanca, M. L. (2017). Regionalización oceanográfica, una visión dinámica del Caribe. In Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andrés (INVEMAR). Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR # 14.

- Rodríguez, S. (2017) Lineamientos institucionales para afrontar el clima cambiante desde las áreas protegidas. Parques Nacionales Naturales de Colombia. Bogotá D.C. Colombia
- Santra, S. y Choudhury, A. (1991). Marine phytoplankton of the mangrove, delta region of West Bengal, India. *Journal of the Marine Biological Association of India*. 33 (1-2): 292-307.
- Stanca, E., Roselli, L., Durante, G., Seveso, D., Galli, P., & Basset, A. (2013). A checklist of phytoplankton species in the faafu atoll (republic of, Maldives). *Transitional Waters Bulletin*, 7(2), 133–144. <https://doi.org/10.1285/i1825229Xv7n2p133>
- Takao, S., Nakaoka, S. I., Hashihama, F., Shimada, K., Yoshikawa-Inoue, H., Hirawake, T., ... Suzuki, K. (2020). Effects of phytoplankton community composition and productivity on sea surface pCO₂ variations in the Southern Ocean. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. 103263. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2020.103263>
- Taylor, T. (1976). Dinoflagellates from the International Indian Ocean expedition. Institute of Oceanography and Department of Botany, Vancouver. 227 p.
- Torres, E. (2007). La comunidad fitoplanctónica presente en un evento de surgencia, frente a la costa del departamento del Magdalena, Caribe colombiano. Tesis para optar por el título de biólogo. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Van Duyl, F. C., Gast, G. J., Steinhoff, W., Kloff, S., Veldhuis, M. J. W., & Bak, R. P. M. (2002). Factors influencing the short-term variation in phytoplankton composition and biomass in coral reef waters. *Coral Reefs*, 21(3), 293–306. <https://doi.org/10.1007/s00338-002-0248-3>
- Vargas-castellanos, J. (2008) Distribución horizontal y vertical de la comunidad fitoplanctonica, alrededor de las islas de providencia y Santa Catalina, Caribe colombiano (época húmeda de 2005) Tesis de pregrado. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

- 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. 384p. ISBN: 978-958-725-041-1.
- 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. 384 p.
- Vidal, L. A., Ospino, K., Linares, K. & García, R. (2017). Diatomeas asociadas a macroalgas en placas permanentes de la colección del profesor Germán Bula Meyer, Universidad del Magdalena, Colombia. Bol. Invest. Mar. Cost. 46 (1). 45-111.
- Wetzel, R.G. and Likens, G.E. (2000) Limnological Analyses. 3rd Edition, Springer, New York, 85-113.
- Yang, J. R., Yu, X., Chen, H., Kuo, Y.-M., & Yang, J. (2021). Structural and functional variations of phytoplankton communities in the face of multiple disturbances. Journal of Environmental Sciences, 100, 287–297. <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. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.486>