

Fitoplancton de la provincia oceánica del mar Caribe colombiano. Diez años de historia

Phytoplankton from the oceanic province of the Colombian Caribbean Sea. Ten years of history

Karen Ayala-Galván ✉, José Manuel Gutiérrez-Salcedo ✉, Erika Montoya-Cadavid ✉

Resumen

El Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras y la Agencia Nacional de Hidrocarburos de Colombia han llevado a cabo investigaciones de línea base ambiental en bloques de exploración de hidrocarburos aguas afuera del mar Caribe colombiano, entre los años 2008 y 2018. Estas investigaciones han generado información taxonómica y ecológica del fitoplancton marino, obtenida bajo diferentes métodos. El objetivo del presente trabajo fue unificar dicha información, certificando su veracidad. Para ello se organizaron matrices de datos, depurando la información, actualizando la taxonomía, categorizándola al nivel taxonómico de género, y estandarizando la abundancia. Aquí se pone a disposición una base de datos del fitoplancton oceánico del mar Caribe colombiano, con 5720 registros, a 2440 de los cuales se adicionaron abundancias. En general, este conjunto de datos recopila información de 8 proyectos, 14 cruceros, 12 bloques de exploración, 120 estaciones, y 304 lotes de muestras mixtas de fitoplancton, donde se registraron 135 géneros distribuidos en 80 familias, 45 órdenes, 9 clases y 7 fila. La abundancia se estandarizó a células por litro, obteniéndose un rango entre 9.6 y 7790.0 cél.L⁻¹.

Palabras clave. Diatomea. Dinoflagelado. Museo de Historia Natural Marina de Colombia. Registro biológico. Zona epipelágica.

Abstract

The Institute of Marine and Coastal Research and the National Hydrocarbons Agency of Colombia have carried out environmental baseline research in hydrocarbon exploration blocks outside the Colombian Caribbean Sea, between 2008 and 2018. These investigations have generated taxonomic and ecological information of marine phytoplankton, obtained under different methods. The objective of the present work was to unify such information, certifying its veracity. For this purpose, data matrices were organized, refining the information, updating the taxonomy, categorizing it at the genus level, and standardizing abundance. Therefore, a database of oceanic phytoplankton of the Colombian Caribbean Sea is made available, with 5720 occurrences, with abundance added to 2440 of them. In general, this data set gathers information from 8 projects, 14 cruises, 12 exploration blocks, 120 stations, and 304 lots of mixed phytoplankton samples, where 135 genera distributed in 80 families, 45 orders, 9 classes, and 7 phyla were recorded. Abundance was standardized to cells per liter, obtaining a range between 9.6 and 7790.0 cel.L⁻¹.

Keywords. Diatom. Dinoflagellate. Museum of Marine Natural History of Colombia. Biological record. Epipelagic zone.

Introducción

En el ecosistema pelágico, el fitoplancton es la comunidad que controla el flujo de materia y energía entre el ambiente y los seres vivos, siendo de gran importancia para evaluar el estado de los ecosistemas, por lo que mundialmente, en los últimos años se ha generado un interés en estudiarlo (Raymont, 1963; Bathmann *et al.*, 2001). Los ciclos en su abundancia durante el año, así como la estructura de los ensamblajes ecológicos, están estrechamente relacionados con las condiciones ambientales, así como con las características poblacionales de cada especie (Escribano & Castro, 2004), cambiando rápidamente ante cualquier disturbio ambiental natural o antrópico (Reid *et al.*, 1978; Ángel, 1993; Brandini *et al.*, 1997; Yoneda, 1999). Esto ha permitido usar esta comunidad como bioindicador del estado ecológico de los sistemas acuáticos (Daly & Smith, 1993; Pinel-Alloul, 1995).

Los diferentes enfoques que pueden tener los estudios sobre el fitoplancton marino incluyen caracterización, biodiversidad, ecología, valoración bioquímica, entre otros, y estos resaltan la importancia del componente taxonómico en cualquier tipo de objetivo y pregunta que se desee contestar (McQuatters-Gollop *et al.*, 2017). Los datos sobre la composición y abundancia de la comunidad fitoplanctónica son importantes para evaluar desde el nivel trófico más bajo, las respuestas de los ecosistemas al cambio ambiental, como el sistema oceánico (Edwards *et al.*, 2010; Richardson *et al.*, 2006; Racault, 2014). Esta característica del fitoplancton lo hace importante en los procesos de exploración de hidrocarburos, porque permite hacer comparaciones sobre los posibles impactos que se generen en el ecosistema pelágico en las áreas a intervenir (Leal *et al.*, 2001; Hernández-Becerril *et al.*, 2008; Rowe, 2017). Ejemplo de esto es lo registrado en varias áreas petroleras del mundo y del Gran Caribe, en donde se han encontrado evidencias de cambios en la estructura de la comunidad fitoplanctónica, debido a derrames de petróleo profundos (Ozhan *et al.*, 2014) o superficiales (Buskey *et al.*, 2016; Tang *et al.*, 2019), y por la acción de dispersantes (Bretherton *et al.*, 2018), entre otros aspectos.

En Colombia, la ejecución de proyectos orientados al estudio del fitoplancton marino oceánico data desde el año 2008. La información existente pertenece a la provincia nerítica, principalmente del sector costero (Garay *et al.*, 1988; Téllez *et al.*, 1988; Tigreros, 2001; Franco *et al.*, 2006; Campos-González, 2007; Ramírez-Barón *et al.*, 2010).

En Colombia, antes de 2007, no existían proyectos que extrajeran información del fitoplancton de la provincia oceánica. La información existente pertenece a la provincia nerítica, principalmente del sector costero (Garay *et al.*, 1988; Téllez *et al.*, 1988; Tigreros, 2001; Franco *et al.*, 2006; Campos-González, 2007; Ramírez-Barón *et al.*, 2010). Esta información fue obtenida en estudios académicos y científicos con fines ecológicos. Para inicios de la década de 2010, a partir de la información existente tanto en publicaciones revisadas por pares como en informes técnicos y tesis de grado, se publicaron los listados taxonómicos para el mar Caribe colombiano de dinoflagelados (Lozano-Duque *et al.*, 2010b) y diatomeas (Lozano-Duque *et al.*, 2011) registrados principalmente en la provincia nerítica y sectores costeros en las ecorregiones propuestas por Díaz & Aceiro (2003). En cuanto a información para el área oceánica, se encuentra publicado el trabajo de Lozano-Duque *et al.* (2010a) y Gutiérrez-Salcedo *et al.* (2015) provenientes de los datos del proyecto INVEMAR-ANH Exploración I y ARC Jamaica respectivamente. Además, se conoce el trabajo de pregrado realizado por Salón-Barros (2013), que comprende estaciones oceánicas frente al Golfo de Urabá hasta el Cabo de la Vela.

A partir de 2007, el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andreis” – INVEMAR, en conjunto con la Agencia Nacional de Hidrocarburos – ANH Colombia, en el marco de la Política Socio-Ambiental de Colombia (Resolución 012 del 19 de enero de 2007), han aunado esfuerzos para aumentar el conocimiento ambiental y biológico del país, principalmente en áreas de interés para la exploración y explotación de hidrocarburos mar afuera tanto en el océano Pacífico como el mar Caribe colombiano. Dentro de las estrategias de investigación, entre 2008 y 2018 se desarrollaron ocho levantamientos de línea base biológica sobre doce bloques de exploración dentro del Caribe colombiano, permitiendo estudiar las comunidades planctónicas pelágicas en un amplio rango geográfico, en áreas de difícil acceso por la lejanía que tienen de la costa, con condiciones climáticas y ambientales impredecibles por falta de información primaria; así como la toma de muestras a mayores profundidades de lo realizado en Colombia por otras investigaciones. Uno de los objetivos principales ha sido estudiar la composición y abundancia del fitoplancton marino (Vides & Alonso, 2019), bajo el cual se ha llenado un vacío de información sobre el fitoplancton marino en aguas oceánicas del Caribe colombiano, en un área de 135 815 km² (25.52% del área total del mar Caribe colombiano).

A pesar de las ventajas que trae el estudio de esta comunidad en la provincia oceánica del Caribe colombiano, la información obtenida a la fecha se encuentra separada y limitada según los bloques de exploración de hidrocarburos investigados, ha sido analizada por diferentes investigadores a través del tiempo, los nombres científicos están desactualizados y no se encuentra publicada para el acceso de la comunidad científica y del sector privado en un formato estandarizado y validado. Por estas razones, el presente documento pretende consolidar toda la información, poniendo a disposición una base de datos del fitoplancton marino de la provincia oceánica del mar Caribe colombiano obtenido en el marco de las investigaciones tipo línea base ambiental en los bloques de exploración de hidrocarburos.

En este caso, la base de datos está conformada hasta el nivel taxonómico de género. Aunque durante cada proyecto se logró identificar parte de los organismos al nivel de especie, se decidió dejar toda la información al mismo nivel por las siguientes razones: (1) durante los diferentes proyectos se tuvieron especialistas con distintas experticias; (2) no se realizaron pruebas de reproducibilidad y repetibilidad para garantizar la homogeneidad de las identificaciones por los diferentes especialistas; (3) la técnica de microscopía óptica sencilla no permite detallar atributos requeridos para llegar a especie en algunos grupos fitoplanctónicos, quedando en la experiencia de los especialistas (Dunker *et al.*, 2018; Dunker, 2019); (4) no se tienen evidencias físicas directas de todos los proyectos para poder corroborar las especies (placas o fotografías); y (5) no existió uniformidad de identificación entre proyectos (algunos proyectos quedaron con mayor número de identificaciones a grupos menos detallados como familia o superiores; o se construyeron las bases de datos con el nivel de morfoespecie, sin unificar criterios entre proyectos). Sin embargo, si se desea conocer la información a especie, esta se encuentra documentada en los diferentes informes técnicos científicos finales de cada proyecto y sus documentos anexos, que están almacenados en el portal del convenio [INVEMAR-ANH](#).

Esta base de datos, además de permitir conocer la diversidad genérica por punto muestreado, también es funcional para obtener información en varios aspectos; por ejemplo, al contener la clasificación taxonómica, la abundancia y la ubicación geográfica, se pueden calcular indicadores en diferentes escalas espaciales y temporales con significancia ecológica, como la proporción diatomeas-dinoflagelados, total de diatomeas o dinoflagelados, la abundancia total del fitoplancton,

entre otros. Los diferentes proyectos utilizados para conformar esta base de datos pueden presentar diferencias entre regiones, tiempos climáticos, así como métodos de campo, por lo que se recomienda utilizar correctamente los filtros de las columnas si se desea realizar una evaluación o comparación de la información. Como ejemplo de esto, se pueden generar evaluaciones como la realizada por Ayala-Galván & Gutiérrez-Salcedo (2019), quienes pudieron demostrar, en términos de tendencias, diferencias espaciales y temporales en las comunidades planctónicas estudiadas en el Caribe colombiano.

Datos del proyecto

Título. Proyectos bajo los convenios interinstitucionales INVEMAR-ANH entre 2008 y 2018.

Nombre. David Alejandro Alonso Carvajal.

Fuentes de financiación. Esta información proviene de los convenios interinstitucionales entre el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés” - INVEMAR y la Agencia Nacional de Hidrocarburos - ANH Colombia. Los números de convenio (Conv.) de cada proyecto se relacionan a continuación: INVEMAR-ANH (1) Exploración I Conv. No. 008 de 2007; (2) Exploración II Conv. No. 008 de 2008; (3) ARC Jamaica Conv. No. 016 de 2010; (4) GUA OFF 3 Conv. Interinstitucional No. 171 de 2013; (5) COL 4 y COL 5 Conv. No. 188 de 2014; (6) COL 1 y 2 T1 Conv. No. 167 de 2016; (7) COL 3 Conv. No. 139 de 2017; y (8) COL 10 Conv. No. 340 de 2018.

Descripción del área estudio. Los datos fueron obtenidos de las muestras recolectadas en la zona epipelágica (0-250 m de profundidad) de la provincia oceánica del mar Caribe colombiano entre los años 2008 y 2018 ([Tabla 2](#)). Las muestras se recolectaron en diferentes momentos del año en jornadas entre las 7:00 am y 4:00 pm.

Descripción del proyecto. El conjunto de datos se obtuvo de muestreos que se hicieron por cada bloque de exploración, determinados en orden de prioridad por la alianza INVEMAR-ANH según las necesidades del sector para la adjudicación de los bloques para sus respectivas exploraciones. El diseño muestral pretendió con la ubicación de las estaciones obtener la mayor información del área muestreada, por lo que se ubicaron las estaciones sistemáticamente ([Tabla 1](#)). Las preguntas que se lograron contestar con este diseño muestral

fueron la descripción de la composición genérica y la abundancia de fitoplancton marino.

Cobertura taxonómica

Descripción.

En este conjunto de datos se recopilieron registros de 135 géneros distribuidas en 80 familias, 45 órdenes, 9 clases y 7 fila. El número de géneros por orden se registró así, para las diatomeas (filo Ochrophyta): Naviculales (11), Coscinodiscales (6), Rhizosoleniales (6), Fragilariales (5), Thalassiosirales (5), Hemiaulales (4), Bacillariales (3), Biddulphiales (3), Lithodesmiales (3), Striatellales (3), Surirellales (3), Thalassionematales (3), Achnanthales (2), Asterolamprales (2), Chaetocerotanae incertae sedis (2), Melosirales (2), Thalassiophysales (2), Triceratiales (2), Anaulales (1), Climacospheniales (1), Corethrales (1), Dictyochales (1), Leptocylindrales (1), Licmophorales (1), Mastogloiales (1), Paraliales (1), Rhaponeidales (1), Toxariales (1), Dictyochales (1), Fragilariales (1). Para los dinoflagelados (filo Myzozoa): Peridiniales (10), Gonyaulacales (9), Dinophysiales (7), Gymnodiniales (5), Noctilucales (2), Prorocentrales (1), Pyrocystales (1), Thoracosphaerales (1). Para las cianobacterias (filo Cyanobacteria): Oscillatoriales (6), Synechococcales (4), Nostocales (2), Chroococcales (1). Para las clorófitas (filo Chlorophyta): Sphaeropleales (3), Pyramimonadales (1). Para las carófitas (filo Charophyta), Euglenas (filo Euglenozoa) y haptófitas (filo Haptophyta), se registró un solo género por filo.

Categorías

Géneros. *Achnanthes*, *Alexandrium*, *Amphiprora*, *Amphisolenia*, *Amphora*, *Anabaena*, *Aphanocapsa*, *Asterionella*, *Asterionellopsis*, *Asterodinium*, *Asterolampra*, *Asteromphalus*, *Azpeitia*, *Bacteriastrum*, *Biddulphia*, *Biddulphiopsis*, *Bleakeleya*, *Blepharocysta*, *Caloneis*, *Campylodiscus*, *Cerataulina*, *Ceratocorys*, *Chaetoceros*, *Citharistes*, *Cladopyxis*, *Climacodium*, *Climacosphenia*, *Cocconeis*, *Corethron*, *Corythodinium*, *Coscinodiscus*, *Cyclotella*, *Cylindrotheca*, *Dactyliosolen*, *Desmodesmus*, *Detonula*, *Dictyocha*, *Dinophysis*, *Diploneis*, *Diplopsalis*, *Diplopsalopsis*, *Ditylum*, *Entomoneis*, *Eucampia*, *Euglena*, *Eunotogramma*, *Fragilaria*, *Goniodoma*, *Gonyaulax*, *Gossleriella*, *Grammatophora*, *Guinardia*, *Gymnodinium*, *Gyrodinium*, *Gyrosigma*, *Haslea*, *Helicotheca*, *Hemiaulus*, *Hemidiscus*, *Heterocapsa*, *Heterodinium*, *Histioneis*, *Isthmia*, *Karenia*, *Komvophoron*, *Lampriscus*, *Leptocylindrus*, *Licmophora*, *Limnococcus*, *Lioloma*,

Lithodesmium, *Lyngbya*, *Mastogloia*, *Melosira*, *Merismopedia*, *Meuniera*, *Microtabella*, *Navicula*, *Neocalyptrella*, *Neodelphineis*, *Nitzschia*, *Noctiluca*, *Octactis*, *Odontella*, *Ornithocercus*, *Oscillatoria*, *Oxyphysis*, *Oxytoxum*, *Palmerina*, *Paralia*, *Pediastrum*, *Phalacroma*, *Phormidium*, *Plagiotropis*, *Planktoniella*, *Planktothrix*, *Pleurosigma*, *Podocystis*, *Podolampas*, *Proboscia*, *Pronoctiluca*, *Prorocentrum*, *Protocera-tium*, *Protoperidinium*, *Pseudanabaena*, *Pseudoguinar-dia*, *Pseudo-nitzschia*, *Pseudosolenia*, *Pyramimonas*, *Pyrocystis*, *Pyrodinium*, *Pyrophacus*, *Rhizosolenia*, *Richelia*, *Scenedes-mus*, *Schuetziella*, *Scrippsiella*, *Scyphosphaera*, *Skeletonema*, *Staurastrum*, *Stauroneis*, *Stephanopyxis*, *Striatella*, *Surirella*, *Synechococcus*, *Synedra*, *Thalassionema*, *Thalassiophysa*, *Thalassiosira*, *Thalassiothrix*, *Torodinium*, *Toxarium*, *Tra-chyneis*, *Trichodesmium*, *Triplos*.

Cobertura geográfica

Descripción. Provincia oceánica del mar Caribe colombiano.

Coordenadas.

Tabla 1. Coordenadas del polígono que agrupa las estaciones donde se caracterizó el fitoplancton marino en los proyectos enmarcados dentro de los convenios de cooperación institucional INVEMAR-ANH.

Table 1. Coordinates of the polygon that groups the stations where the marine phytoplankton was characterized in the projects framed within the institutional cooperation agreements INVEMAR-ANH.

Proyecto (INVEMAR-ANH)	Longitud mínima	Longitud máxima	Latitud mínima	Latitud máxima
Exploración I	76°27'54"O	71°43'8.4"O	9°26'56.4"N	13°55'22.8"N
Exploración II	76°51'39.6"O	71°17'45.6"O	8°57'3.6"N	12°49'33.6"N
ARC Jamaica	79°59'56.4"O	78°31'8.4"O	15°35'34.8"N	16°8'60"N
GUA OFF 3	73°54'25.2"O	73°5'13.2"O	12°6'25.2"N	12°52'51.6"N
COL 4 y COL 5	77°7'33.6"O	75°48'32.4"O	9°1'51.6"N	11°15'18"N
COL 1 y COL 2 T1	75°52'30"O	74°7'30"O	11°34'58.8"N	12°55'1.2"N
COL 3	75°50'9.6"O	74°3'32.4"O	11°15'28.8"N	11°58'55.2"N
COL 10	72°40'26.4"O	71°48'7.2"O	13°30'0"N	14°22'48"N

Cobertura temporal.

Tabla 2. Rango de fechas en que se realizaron los muestreos para el fitoplancton marino en los proyectos enmarcados dentro de los convenios de cooperación institucional INVEMAR-ANH.

Table 2. Range of dates in which sampling was carried out for marine phytoplankton in projects within the framework of INVEMAR-ANH institutional cooperation agreements.

Proyecto (INVEMAR-ANH)	Fecha inicial	Fecha final
Exploración I	29-04-2008	09-06-2008
Exploración II	04-10-2009	06-12-2009
ARC Jamaica	11-10-2011	09-11-2011
GUA OFF 3	09-11-2013	03-12-2013
COL 4 y COL 5	06-10-2014	03-11-2014
COL 1 y COL 2 T1	19-11-2015	21-04-2016
COL 3	18-09-2017	14-11-2017
COL 10	09-04-2018	17-05-2018

Datos de la colección

Nombre de la colección: Colección de plancton del Museo de Historia Natural Marina de Colombia (MHNMC)

Identificador de la colección: Registro Nacional de Colecciones No. 082

Identificador de la colección parental: MHNMC

Método de preservación de los especímenes: Formalina

Unidad curatorial: 304 (Lotes)

Unidad curatorial: 5720 (Registros biológicos)

Materiales y métodos

Área de estudio.

El mar Caribe Colombiano corresponde a una de las cinco cuencas que componen el mar Caribe (Wüst, 1964). Este ocupa un área de 532 154 km² (INVEMAR, 2020) y posee una línea costera de 1 760 km, que va desde la península de la Guajira (límites con Venezuela) hasta Cabo Tiburones (límite con Panamá). Adicionalmente, el Mar Caribe colombiano posee un sector insular continental al noroccidente que limita con Nicaragua y Jamaica (Botero & Álvarez-León, 2000).

La columna de agua del Mar Caribe colombiano está compuesta por cinco masas de agua, siendo las tres primeras las que influyen directamente en la comunidad fitoplanctónica. La primera de ellas presenta las temperaturas más elevadas, está ubicada en los primeros 30 m de profundidad y es denominada Agua Superficial del Caribe; la segunda se caracteriza por ser la zona con los picos más altos de salinidad, se ubica hasta los 160 m de profundidad y se denomina Agua Subtropical; por último, la tercera masa de agua se caracteriza por presentarse el final de la termoclina, se ubica hasta los 450 m de profundidad y se denomina Agua Central del Atlántico Norte (Urbano, 1993).

A nivel de mesoescala, el Mar Caribe colombiano está influenciado por tres corrientes marinas superficiales y una profunda: la corriente del Caribe, que se encuentra en los primeros 160 m de profundidad y se mueve hacia el occidente; la Contracorriente Panamá-Colombia que puede llegar hasta los 300 m de profundidad y se mueve hacia el oriente; el giro Panamá-Colombia que se forma por el movimiento de la corriente del Caribe y la geomorfología de la cuenca de Colombia moviéndose ciclónicamente; y la corriente profunda del Caribe que se mueve sobre el talud y la zona abisal en sentido similar a la contracorriente (Andrade-Amaya, 2000).

La intensidad de las corrientes marinas superficiales, así como las condiciones ambientales del Mar Caribe colombiano, están condicionadas por la Zona de Convergencia Inter Tropical y la acción de los vientos Alisios. El movimiento de la Zona de Convergencia Inter Tropical ocasiona que en el Mar Caribe colombiano exista un clima monomodal, con un periodo de lluvias y vientos Alisios de baja intensidad entre agosto y noviembre; un periodo seco con los vientos Alisios fuertes entre diciembre y abril; y un periodo de transición entre mayo y julio (Blanco, 1988).

En periodos de lluvias, la descarga de aguas continentales es mayor, influenciando la provincia oceánica, así como el sector oriental del Mar Caribe colombiano, aunque este no presente afluentes continentales grandes, debido a que la Contracorriente Panamá-Colombia se intensifica y logra llegar hasta la península de la Guajira. Como consecuencia, las masas de agua superficiales son más homogéneas y estables (Cañón & Santamaria, 2003; Bernal *et al.*, 2006). Por otro lado, en periodos secos, la Corriente del Caribe del Mar Caribe colombiano se intensifica, ocasionando surgencias costeras en la península de la Guajira y las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta. Esto genera que

las aguas del sector oriental sean más frías y se genere una diferenciación ambiental limitada por el frente formado entre el giro Panamá-Colombia y la Corriente del Caribe (Álvarez-León *et al.*, 1995; Andrade-Amaya & Barton, 2005).

Por último, en términos temporales, durante los años de estudio (2008-2018), el clima del Mar Caribe colombiano estuvo influenciado por eventos de mayor escala como el Evento Niño Oscilación Sur (ENOS), siendo el 2008, 2010, 2011, 2016 y 2017 periodos con influencias de La Niña; el 2009, 2014, 2015 y 2018 periodos con presencia de El Niño; y, 2012 y 2013 periodos con neutralidad climática (NOAA, 2020).

Mayor detalle del área de estudio y las condiciones presentadas, se encuentran reflejados en los diferentes informes técnicos científicos finales que se encuentran a disposición en el [Portal Ambiental Offshore](#) del INVEMAR y ANH.

Descripción del muestreo.

Selección del bloque de exploración: el orden de los estudios en cada bloque estuvo dado por la necesidad de la ANH de realizar la línea base para poder adjudicarlo (Figura 1). Los bloques de exploración cambian de tamaño constantemente, según el Procedimiento Permanente de Asignación de Áreas (PPAA) de la ANH, por lo que una revisión de bloques en la actualidad daría resultados diferentes; los cambios del mapa de tierras se pueden observar en la página oficial de la ANH.

Campañas de investigación: el número de estaciones y su disposición espacial se determinaron utilizando un diseño muestral único para cada crucero de investigación, bajo los responsables del componente plancton de cada uno de los proyectos; se definieron criterios como profundidad máxima, geofomas presentes, temporalidad, etc.

Método de campo: se utilizaron dos métodos de recolección del material biológico fitoplanctónico. El primero de ellos se realizó con el fin de hacer análisis cualitativos (e.d. presencia). Este consistió en utilizar redes de plancton cónicas tipo WP2, con un poro de malla de 20 µm, unas dimensiones generales de 2.2 m de longitud y 0.6 m de apertura de boca, y un copo colector duro. Para permitir el hundimiento efectivo de las redes estas siempre iban acompañadas de un lastre al final de la línea de izado.

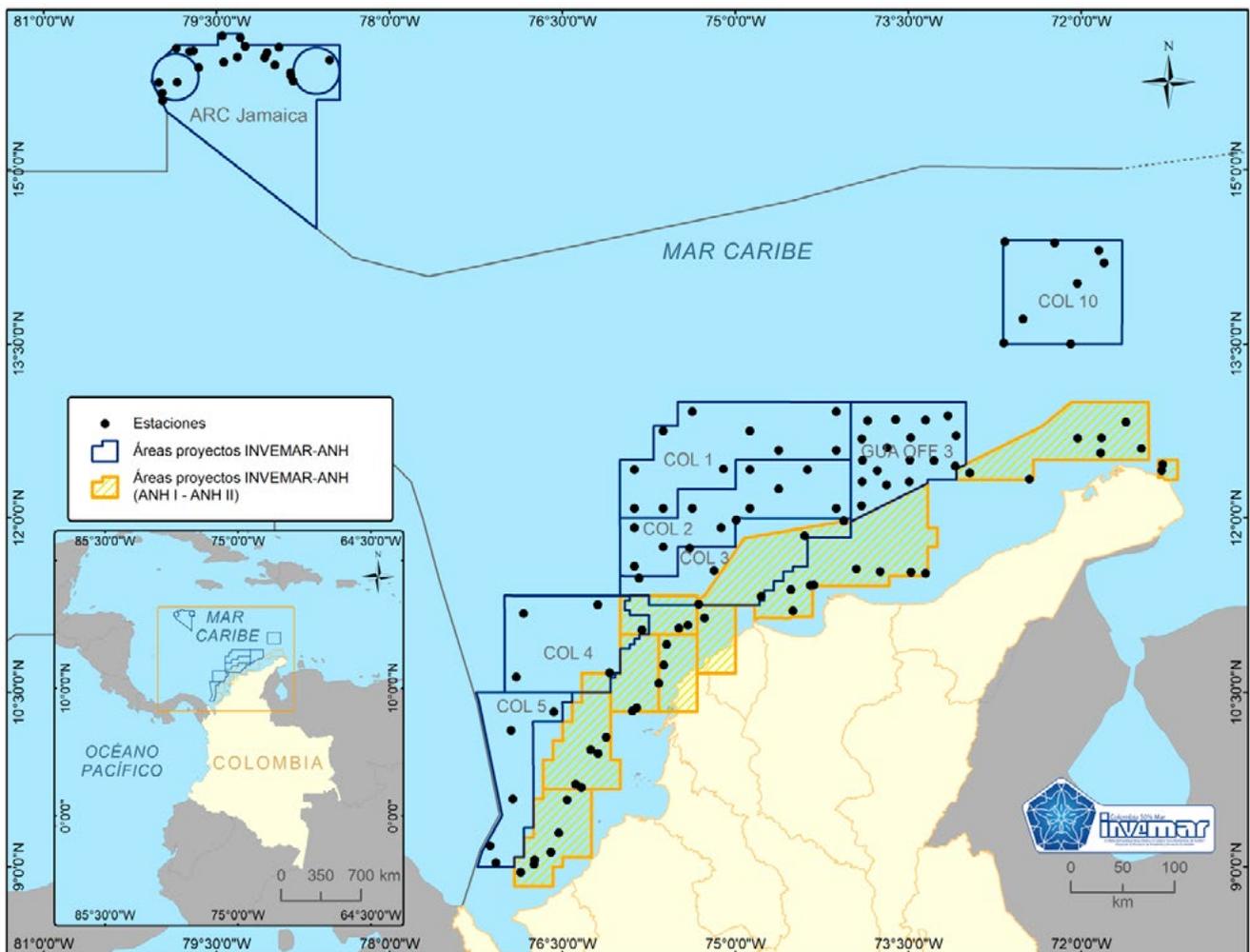


Figura 1. Ubicación de las estaciones definidas para la toma de muestras del componente fitoplanctónico en el Caribe colombiano, en las diferentes campañas de investigación de los convenios INVEMAR-ANH.

Figure 1. Location of the stations defined for the sampling of the phytoplankton component in the Colombian Caribbean, during different research campaigns of the INVEMAR-ANH agreements.

Para el proyecto ARC Jamaica, los arrastres fueron oblicuos, lanzándose las redes con la embarcación en movimiento, llegando a hundirse hasta 50 m de profundidad. En los demás proyectos los arrastres se realizaron con la embarcación estática, las redes se izaron verticalmente y las profundidades se definieron según el diseño muestral de cada uno de ellos: COL 10, COL 1 y COL 2 T1 a 20 m; COL 3 a 50 m; y Exploración I y II, GUA OFF 3, COL 4 y COL 5 a 200 m. Cada muestra recolectada de los arrastres se almacenó utilizando los protocolos estandarizados de manipulación para muestras planctónicas (Boltovskoy, 1999), envasándose en recipientes plásticos, debidamente rotulados y fijando las muestras con una solución de formalina

neutralizada con tetraborato de sodio, quedando a una concentración final del 5%.

El segundo método de recolección se hizo con el fin de hacer análisis cuantitativos (e.d. abundancias). Para ello se utilizaron botellas oceanográficas Niskin de 10 L de capacidad. Estas se ubicaron en una roseta oceanográfica con CTDO. Mientras la roseta se profundizaba, la CTDO realizaba mediciones de las variables fisicoquímicas. Durante la izada de la roseta, las botellas se cerraban a las profundidades preestablecidas según intensidad lumínica o profundidad de las masas de agua. La profundidad máxima de muestreo alcanzada fue de 250 m. Por cada lance de la roseta se utilizaron entre

Tabla 3. Información asociada a la caracterización del fitoplancton marino en el Caribe colombiano, en los proyectos enmarcados dentro de los convenios de cooperación institucional INVEMAR-ANH.

Table 3. Information associated with the characterization of marine phytoplankton in the Colombian Caribbean, in projects within the framework of INVEMAR-ANH institutional cooperation agreements.

Proyecto (INVEMAR-ANH)	No de cruceros	Fecha inicial y final de muestreo	Bloque explorado	No estaciones
Exploración I	3	02-05-2008 07-06-2008	Tayrona, Magdalena y Fuerte	13
Exploración II	4	05-10-2009 06-12-2009	RC4/5/6/7, Fuerte, Tayrona.	23
ARC Jamaica	1	18-10-2011 08-11-2011	Área de Régimen Común Colombia-Jamaica (sector bajos y bancos)	21
GUA OFF 3	1	18-11-2013 02-12-2013	Guajira offshore 3	17
COL 4 y COL 5	1	22-10-2014 02-11-2014	COL4 y COL5	10
COL 1 y COL 2 T1	2	19-11-2015 21-04-2016	COL1 y COL2	20
COL 3	1	23-09-2017 08-10-2017	COL3	8
COL 10	1	31-05-2018 13-06-2018	COL10	8

tres y cinco botellas oceanográficas para la obtención de las muestras fitoplanctónicas. De cada una de ellas se extrajeron 800 mL de agua en botellas plásticas oscuras y se fijaron con una solución de Lugol ácido en proporción 1:100. Todas las muestras se almacenaron en un lugar fresco hasta ser transportados a los laboratorios del Museo en el INVEMAR.

Método de laboratorio: las muestras obtenidas para análisis cualitativos se revisaron en microscopios ópticos de luz transmitida con objetivos de 20, 40 y 100X. En los proyectos Exploración I y II se revisó 1 mL por muestra en cámaras Sedgwick-Rafter, en los demás proyectos se revisaron de 4 a 8 alícuotas por muestra con un volumen de 0.125 ml acorde a curva de acumulación. En ambos métodos se realizaron recorridos sistemáticos en búsqueda de organismos nuevos. En el caso de las muestras obtenidas para los análisis cuantitativos, estas se revisaron en microscopios invertidos con objetivos de 20, 40 y 63X. Para esto, se sedimentaron 50 o 100 mL de la muestra en cámaras Utermöhl, revisándose el volumen sedimentado en su totalidad, siguiendo la metodología detallada en el manual de fitoplancton de Edler & Elbrächter (2010). En los conteos, cada colonia

y/o filamento perteneciente al grupo de cianobacterias se estableció como una célula. Finalmente, los datos de abundancia obtenidos se estandarizaron en células por litro (cél.L⁻¹).

La identificación taxonómica se hizo al nivel más detallado posible, obteniéndose datos desde filo hasta especie, según la experticia del investigador y la dificultad de identificación. Para ello, cada investigador utilizó una serie de documentos taxonómicos, entre los que se pueden mencionar Balech (1988), Round *et al.* (1990) y Tomas (1997). Así mismo, toda la información obtenida fue guardada en hojas de cálculos en formato digital.

Una vez finalizada la revisión de las muestras, estas fueron envasadas en frascos de vidrio, rotuladas y catalogadas dentro de la colección de plancton del Museo de Historia Natural Marina de Colombia (MHNMC) – Makuriwa como muestras de plancton mixtas. Los preservantes y concentraciones utilizadas fueron los mismos que los fijados en campo. Para poder catalogar las muestras, la información fue transferida al formato de depósito del material biológico que maneja el Museo Makuriwa, siguiendo los estándares de Darwin Core

necesarios para poder subir la información al Sistema de Información sobre Biológica Marina de Colombia – SiBM.

Control de Calidad.

El control de calidad de los muestreos se hizo con el seguimiento de los protocolos internacionales para la obtención de muestras, tanto con redes como por botellas, descritos en [Rice *et al.* \(2017\)](#). Toda la información de cada lance se registró en la bitácora de crucero. Los datos siempre fueron verificados por al menos dos investigadores en cubierta y uno en cabina. Si durante el muestreo se modificó alguno de los pasos o los datos recolectados no fueron precisos o dudosos, se repetía el muestreo.

Para la revisión de las muestras de fitoplancton en el laboratorio, el control de calidad se hizo con el seguimiento de la metodología detallada en el manual de fitoplancton de [Edler & Elbrächter \(2010\)](#). Una vez finalizado cada día de laboratorio, los resultados se documentaban en físico y digital. Si se presentaba alguna duda de identificación por algún investigador, se realizaba una revisión por los otros investigadores a cargo del componente.

En cuanto al cálculo de la abundancia, el control de calidad del fue realizado con la revisión de las fórmulas utilizadas para tal fin por al menos dos investigadores distintos a los identificadores. Se revisaron las fórmulas según las propuestas en los manuales de fitoplancton como el de [Edler & Elbrächter \(2010\)](#).

Para la organización, unificación y actualización de la taxonomía, se realizó el control de calidad de los nombres con la comparación de la información con la del Registro Mundial de Especies Marinas – WoRMS (sigla en inglés; [WoRMS Editorial Board, 2019](#)). Aquí se corrigieron nombres mal escritos, sinonimias o desactualizados.

Por último, el control de calidad de la estructura de la información que compone la base de datos se realizó siguiendo los estándares del Darwin Core, mediante la herramienta de publicación integrada – IPT.

Descripción de la metodología paso a paso.

Creación de la base de datos: Para llevar a cabo la base de datos de la composición y abundancia del fitoplancton oceánico del mar Caribe colombiano:

1. Inicialmente se realizó una recopilación de toda la información obtenida en los ocho proyectos que ha realizado la alianza INVEMAR–ANH entre 2008 y 2018. Se tuvo en cuenta la información obtenida de fitoplancton proveniente tanto de los muestreos con red como de botella.
2. Se organizó toda la información en una matriz en una hoja de cálculo en formato digital y luego se documentó en tres plantillas siguiendo los estándares del Darwin Core, mediante la herramienta de publicación integrada – IPT (Integrated Publishing Toolkit por su denominación en inglés) que sigue el SiBM. Para esto, se separaron los atributos de las muestras por columnas tales como el nombre del proyecto, estación, fecha, método de recolección, poro de malla de las redes, profundidad o intensidad lumínica a la cual fueron obtenidas, tipo de análisis realizado, taxonomía, entre otros.
3. Se depuró y organizó la matriz, eliminando los taxones cuyo nivel taxonómico más bajo no fue identificado a género, así como se subió el nivel taxonómico de las especies a género. Este listado taxonómico reposa en la celda *scientificName* de la plantilla *ocurrence*.
4. Finalmente, para los datos obtenidos a partir de los métodos cuantitativos, se estandarizaron los valores de abundancia expresados en células por litro (cél.L⁻¹). En el caso de los registros que se subieron de especie a género, se sumaron los valores para obtener la abundancia total por género. Cabe anotar que los proyectos INVEMAR–ANH que registraron valores de abundancia fueron GUA OFF 3, COL 1 y COL 2 T1, COL 3 y COL 10.

Resultados

Descripción del conjunto de datos.

Esta base de datos se compone por dos plantillas: la primera contiene el registro de las presencias, denominada *ocurrence*, donde se asocia la información de los registros biológicos, mencionando algunos relevantes como la taxonomía, el investigador que identificó, el preservante usado, el código de seguimiento en la colección, entre otros complementarios, así como también se relaciona la información de las estaciones por proyecto, respondiendo a cómo, dónde, cuándo y quién recolectó el material biológico. La segunda plantilla es la de medidas o hechos, que es una extensión del

Darwin core denominada *MeasurementOrFact*, que tiene asociados los datos cuantitativos.

En general este conjunto de datos reúne información de 8 proyectos, 14 cruceros, 12 bloques de exploración, 120 estaciones y 304 lotes de muestras mixtas de fitoplancton, recolectadas en el mar Caribe colombiano entre 0 y 250 m de profundidad. A partir de estos lotes, en total se documentaron 5720 registros como datos de presencia, y a 2440 de estos se les adicionaron en la base de datos los valores de las abundancias calculadas. Los especímenes identificados (e.d. registros) no se encuentran individualizados, sino que se encuentran inmersos en las muestras originales mixtas; por este motivo, no cuentan con un número de catálogo. Los lotes pueden ser consultados físicamente en el Museo de Historia Natural Marina de Colombia (MHNMC) - Makuriwa en la Sección de Fitoplancton a través del código de seguimiento asignado por la curaduría el cual es denominado como Número consecutivo.

En términos taxonómicos, se identificaron 135 géneros clasificados en 7 filos. De estos, el filo Ochrophyta (diatomeas) fue el que mayor número de géneros registró, con 79. Seguido de éste está Myzozoa (dinoflagelados) con 36 géneros. Los filos Cyanobacteria (cianobacterias) y Chlorophyta (clorófitas) registraron 13 y 4 géneros respectivamente. Los filos Charophyta (carófitas), Euglenozoa (Euglenas) y Haptophyta (haptófitas) tuvieron cada uno un representante.

En cuanto a la frecuencia de los géneros según el número total de lotes, el promedio general fue de 42.4 ± 59.1 (d.e.), siendo los géneros que más aparecen *Navicula* (233), *Gyrodinium* (224), *Nitzschia* (206), *Oxytoxum* (206), *Chaetoceros* (204), *Rhizosolenia* (191), *Hemiaulus* (189), *Tripos* (188), *Dictyocha* (185), *Guinardia* (164), *Proboscia* (158). Por el contrario, los géneros *Asterodinium*, *Biddulphia*, *Biddulphiopsis*, *Bleakeleya*, *Climacosphenia*, *Ditylum*, *Eunotogramma*, *Gossleriella*, *Hemidiscus*, *Heterodinium*, *Komvophoron*, *Merismopedia*, *Noctiluca*, *Oxyphysis*, *Paralia*, *Pediastrum*, *Planktothrix*, *Pronoctiluca*, *Pseudanabaena*, *Pyrodinium*, *Scenedesmus*, *Staurastrum*, *Stephanopyxis*, *Surirella*, *Thalassiosira*, *Toxarium*, *Trachyneis*, son los que menos se presentan en la base de datos, con solo una aparición.

Geográficamente, dividiendo el mar Caribe en tres sectores, el sector nororiental (de la pluma del río Magdalena hasta La Guajira) registró el mayor número de géneros con 98, y presentó frecuencias de los géneros *Gyrodinium* (218), *Navicula* (197), *Oxytoxum* (186)

y *Nitzschia* (179), el sector suroriental (de la pluma del río Magdalena hasta el Golfo de Urabá) registró 77 géneros, siendo el más frecuente *Hemiaulus* con 22 registros, seguido de *Bacteriastrum*, *Chaetoceros*, *Hemiaulus*, *Pseudosolenia*, *Thalassionema* y *Tripos*, con 21 registros, y por último el sector insular (Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina) registró el menor número de géneros, con 73, tuvo frecuencia de los géneros *Ceratocorys*, *Coscinodiscus*, *Podolampas* y *Tripos*, con 21 registros.

Finalmente, los registros de la base de datos presentaron abundancias entre 9.6 y 7790.0 cél.L⁻¹, con un promedio general de 91.7 ± 245.4 cél.L⁻¹. Los géneros que registran las abundancias más altas son *Chaetoceros* (235.3 ± 832.6 cél.L⁻¹), *Navicula* (209.6 ± 205.4 cél.L⁻¹), *Gyrodinium* (211.7 ± 234.2 cél.L⁻¹), *Guinardia* (159.6 ± 480.1 cél.L⁻¹), *Gyrodinium* (153.1 ± 194.1 cél.L⁻¹), *Nitzschia* (120.0 ± 235.6 cél.L⁻¹) y *Oxytoxum* (100.0 ± 105.4 cél.L⁻¹). Por el otro lado, se encuentran los géneros *Asterodinium*, *Caloneis*, *Mastogloia*, *Melosira*, *Neocalyptrella*, *Scyphosphaera*, *Stauroneis* y *Diplopsalis*, todos con un único registro en botellas y valores menores a 10 cél.L⁻¹.

Los proyectos INVEMAR-ANH que registraron valores de abundancia (GUA OFF 3, COL 1 y COL 2 T1, COL 3 y COL 10), registraron en total 185 estaciones y geográficamente están ubicadas en el sector nororiental, con excepción de las estaciones E467 del bloque COL 1, E433, E431 y E428 del bloque COL 2 y E570, E557 del bloque COL 3, ubicadas en el sector suroriental.

URL del recurso. Para acceder a la última versión del conjunto de datos:

IPT. <https://doi.org/10.15472/rybxzv>

Portal GBIF. <https://www.gbif.org/dataset/34d7a259-acf6-4b01-9640-0ab5efc17dad>

Nombre. Archivo Darwin Core Fitoplancton de la provincia oceánica del mar Caribe colombiano. Diez años de historia

Idioma. Español

Codificación de caracteres. UTF-8

URL del archivo. Para acceder a la versión del conjunto de datos descrita en este artículo:

<https://ipt.biodiversidad.co/biota/resource?r=invemar-anh>

Formato del archivo. Darwin Core

Versión del formato del archivo. 1.0

Nivel de jerarquía. Dataset

Fecha de publicación de los datos. 2020-09-14

Idioma de los metadatos. Español

Fecha de creación de los metadatos. 2020-08-31

Licencia de uso. El publicador y propietario de los derechos de este trabajo es el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR. Este trabajo está bajo la licencia Creative Commons Attribution Non Commercial (CC-BY-NC) 4.0 License.

Agradecimientos

Se agradece a el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andreis” – INVEMAR y a la Agencia Nacional de Hidrocarburos – ANH Colombia por el apoyo y financiación de los diferentes proyectos dentro de los cuales se desarrolló el presente trabajo (número de convenios en el ítem fuentes de financiación). También se agradece al programa de Biodiversidad y Ecosistemas Marinos BEM – INVEMAR, y a todo el personal del Museo de Historia Natural Marina de Colombia (MHNMC) – Makuriwa que ha sido parte de este proceso a lo largo de estos diez años.

Referencias

- Álvarez-León, R., Aguilera-Quiñones, J., Andrade-Amaya C. A. & Nowak, P. (1995). Caracterización general de la zona de surgencia en la Guajira Colombiana. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 19(75), 679- 694.
- Andrade-Amaya, C. A. (2000). *The circulation and variability of the Colombian Basin in the Caribbean Sea*. (Doctoral thesis). University of Wales. 225 pp.
- Andrade-Amaya, C. A. & Barton, E. D. (2005). The Guajira upwelling system. *Continental Shelf Research*, 25(9), 1003-1022.
<https://doi.org/10.1016/j.csr.2004.12.012>
- Ángel, M. V. (1993). Biodiversity of the pelagic ocean. *Conservation Biology*, 7(4), 760-772.
<https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1993.740760.x>
- Ayala-Galván, K. & Gutiérrez-Salcedo, J. M. (2019). Evaluación de implementación de indicadores confiables, con base en atributos ecológicos y biológicos clave, al igual metodologías de manejo de datos para medir el estado del bentos, plancton y el pelagos, en relación con factores de perturbación de la actividad de hidrocarburos. A. Comunidades biológicas: Plancton. En Vides, M. & Alonso, D. (Eds.). (2019). *Integración, análisis y diagnóstico de información de línea base ambiental de la cuenca Caribe como apoyo a nuevas a fronteras del desarrollo del sector de hidrocarburos costa afuera*. (Informe Técnico Final). Convenio 399 -19. Pp: 209-256. Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH e Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andreis – INVEMAR.
- Balech, E. (1988). *Los dinoflagelados del Atlántico sudoccidental*. Museo Argentino de Ciencias Naturales de Buenos Aires. Publicaciones Especiales del Instituto Español Oceanográfico, 1, 1-310.
- Bathmann, U., Bundy, M. H., Clarke, M. E., Cowles, T. J., Daly, K., Dam, H. G., Dekshenieks, M. M., Donaghay, P. L., Gibson, D. M., Gifford, D. J., Hansen, B. W., Hartline, D. K., Head, E. J. H., Hofmann, E. E., Hopcroft, R. R., Jahnke, R. A., Jonasdottir, S. H., Kiørboe, T., Kleppel, G. S., Klinck, J. M., Kremer, P. M., Landry, M. R., Lee, R. F., Lenz, P. H., Madin, L. P., Manahan, D. T., Mazzocchi, M. G., McGillicuddy, D. J., Miller, C. B., Nelson, J. R., Osborn, T. R., Paffenhöfer, G. A., Pieper, R. E., Prusova, I., Roman, M. R., Schiel, S., Seim, H. E., Smith, S. L., Torres, J. J., Verity, P. G., Wakeham, S. G. & Wishner, K. F. (2001). Future marine zooplankton research: a perspective. *Marine Ecology Progress Series*, 222, 297–308.
<https://doi.org/10.3354/meps222297>
- Bernal, G., Poveda, G., Roldán, P. & Andrade, C. (2006). Patrones de variabilidad de las temperaturas superficiales del mar en la Costa Caribe colombiana. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 30(115), 195-208.
- Blanco, J. A. (1988). *Las variaciones ambientales estacionales en las aguas costeras y su importancia para la pesca en la región de Santa Marta, Caribe Colombiano* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia. 59 pp.
- Boltovskoy, D. (1999). *South Atlantic zooplankton*. 2 Ed. Backhuys Publisher.
- Botero, L. & Álvarez-León, R. (2000). The Caribbean coast of Colombia. En Sheppard C. (Ed.), *Seas at the Millennium: An Environmental Evaluation*, Northeastern Naturalist, 11(2), 439.
- Brandini, F. P., Lopes, R. M., Gutseit, K. S., Spach, H. L. & Sassi, R. (1997). Planctonologia na plataforma continental do Brasil. (Diagnose e revisão bibliográfica). *Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva-REVIZEE*. MMA, CIRM, FEMAR.
- Bretherton, L., Williams, A., Genzer, J., Hillhouse, J., Kamalanathan, M., Finkel, Z. V. & Quigg, A. (2018). Physiological response of 10 phytoplankton species exposed to Macondo oil and the dispersant, Corexit. *Journal of phycology*, 54(3), 317-328.
<https://doi.org/10.1111/jpy.12625>
- Buskey, E. J., White, H. K. & Esbaugh, A. J. (2016). Impact of oil spills on marine life in the Gulf of Mexico.

- co: effects on plankton, nekton, and deep-sea benthos. *Oceanography*, 29(3), 174-181.
<https://doi.org/10.5670/oceanog.2016.81>.
- Campos-González, E. (2007). *Fitoplancton de las Islas de Providencia y Santa Catalina, Caribe Colombiano* (Trabajo de Grado). Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Ciencias Naturales, Programa de Biología Marina. 62pp.
- Cañón, M. L. y Santamaría, A. (2003). Influencia de la pluma del río Magdalena en el Caribe colombiano. *Boletín Científico CIOH*, 21, 66-84.
- Daly, K. L. & Sith, Jr. W. O. (1993). Physical-biological interactions influencing marine plankton production. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 24(1), 555-585.
- Díaz, J. M. & Acero, A. (2003). Marine biodiversity in Colombia: achievements, status of knowledge and challenges. *Gayana*, 67(2), 261-274.
- Dunker, S. (2019). Hidden Secrets Behind Dots: Improved Phytoplankton Taxonomic Resolution Using High-Throughput Imaging Flow Cytometry. *Cytometry Part A*, 95(8), 854-868.
<https://doi.org/10.1002/cyto.a.23870>
- Dunker, S., Boho, D., Wäldchen, J. & Mäder, P. (2018). Combining high-throughput imaging flow cytometry and deep learning for efficient species and life-cycle stage identification of phytoplankton. *BMC Ecology*, 18(1), 51.
<https://doi.org/10.1186/s12898-018-0209-5>
- Edler, L. & Elbrächter, M. (2010). The Utermöhl method for quantitative phytoplankton analysis. En Karlson, B., C, Cusack y E, Bresnan (Eds.). *Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis*. Pp: 13-20. UNESCO.
- Edwards, M., Beaugrand, G., Hays, G.C., Koslow, J. A. & Richardson, A. J. (2010). Multi-decadal oceanic ecological datasets and their application in marine policy and management. *Trends in Ecology and Evolution* 25, 602-610.
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.07.007>
- Escribano, R. & Castro, L. (2004). Plancton y productividad. En Werlinger, C., Alveal, K., & Romo, H. (2004). *Biología marina y oceanografía: conceptos y procesos*. (pp: 287-312) Consejo Nacional del Libro y la Lectura.
- Franco-Herrera, A., Castro, L., & Tigreros, P. (2006). Plankton dynamics in the south-central Caribbean Sea: Strong seasonal changes in the coastal tropics systems. *Caribbean Journal of Science*, 42(1), 24-38.
- Garay, J., Castillo, F., Andrade, C., Aguilera, J., Niño, L., De La Pava, M., López, W. & Márquez, G. (1988). Estudio Oceanográfico del Área Insular y Océanica del Caribe colombiano - Archipiélago de San Andrés y Providencia y Cayos vecinos. *Boletín científico del CIOH*, 9, 3-73.
- Gutiérrez-Salcedo, J. M., Cabarcas-Mier, A. y Suárez-Mozo, N. (2015). First characterization of the planktonic community in the northern sector of the Joint Regime Area Jamaica-Colombia. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR*, 44(2), 343-368.
- Hernández-Becerril, D. U., García-Reséndiz, J. A., Salas-de León, D. A., Monreal-Gómez, M. A., Signoret-Poillon, M. & Aldeco-Ramírez, J. (2008). Fracción de nanoplancton en la estructura del fitoplancton en el sur del Golfo de México (abril de 2000). *Ciencias Marinas*, 34(1), 77-90.
- INVEMAR. (2020). *Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia, 2019*. (Informe técnico). Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR, Serie de Publicaciones Periódicas No. 3. 183 pp.
- Leal, S., Delgado, G. & Nodas, D. (2001). Distribución y abundancia del fitoplancton en un área de la zona nororiental de Cuba. *Revista de Investigaciones Marinas*, 23(1), 45-51.
- Lozano-Duque, Y., Vidal, L.A. y Navas, G.R. (2010a). La comunidad fitoplanctónica en el mar Caribe colombiano. En INVEMAR (Eds.). *Biodiversidad del margen continental del Caribe colombiano*. Pp: 87-120. Serie de Publicaciones Especiales, N°20.
- Lozano-Duque, Y., Vidal, L. A. & Navas, G. R. (2010b). Listado de diatomeas (Bacillariophyta) registradas para el Mar Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR*, 39(1), 83-116.
- Lozano Duque, Y., Vidal, L. A. & Navas, G. R. (2011). Lista de especies de dinoflagelados (Dinophyta) registrados en el Mar Caribe colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR*, 40(2), 361-380
- McQuatters-Gollop, A., Johns, D. G., Bresnan, E., Skinner, J., Rombouts, I., Stern, R., Aubert, A., Johansen, M., Bedford, J. & Knights, A. (2017). From microscope to management: The critical value of plankton taxonomy to marine policy and biodiversity conservation. *Marine Policy*, 83, 1-10.
<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.05.022>
- NOAA. (2020). *National Center for Environmental Information: Southern Oscillation Index (SOI)*.
- Ozhan, K., Parsons, M. L. & Bargu, S. (2014). How were phytoplankton affected by the deepwater horizon oil spill?. *BioScience* 64 (9), 829-836.
<https://doi.org/10.1093/biosci/biu117>
- Pinel-Alloul, B. (1995). Spatial heterogeneity as a multi-scale characteristic of zooplankton community. *Hydrobiologia*, 300(1), 17-42.
- Racault, M. F., Platt, T., Sathyendranath, S., Agirbas, E., Martínez-Vicente, V. & Brewin, R. (2014). Indicador

- res de plancton y sistemas de observación del océano: apoyo a la evaluación del estado del ecosistema marino. *Journal of Plankton Research*, 36, 621-629. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbu016>
- Ramírez-Barón, J. S., Franco-Herrera, A., García-Hoyos L. M. & López D. A. (2010). 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-INVEMAR*, 39(2), 233-263.
- Raymont, J. E. (1963). *Plankton and Productivity in the Oceans*. Pergamon Press. 496 pp.
- Reid, J. L., Brinton, E., Fleminger, A., Venrick, E. L. & McGowan, J. A. (1978). Ocean circulation and marine life. En Charnock, C. & G. Deacon (eds). *Advances in Oceanography*. Pp: 65-130. Springer.
- Rice, E. W., Baird R. B. & Eaton A. D. (Eds.) (2017). Standard methods for the examination of water & wastewater: Plankton [10200]. *American Public Health Association*. <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.207>
- Richardson, A. J., Walne, A. W., John, A. W. G., Jonas, T. D., Lindley, J. A., Sims, D. W., Stevens, D. & Wimm, M. (2006). Using continuous plankton recorder data. *Progress in Oceanography*, 68, 27-74. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2005.09.011>
- Round, F. E., Crawford, R. M. & Mann, D. G. (1990). *Diatoms: The Biology and Morphology of the Genera*. Cambridge University Press. 747 pp.
- Rowe, G.T. (2017). Offshore plankton and benthos of the Gulf of Mexico. En Ward, C. H. (Ed.) *Habitats and Biota of the Gulf of Mexico: Before the Deepwater Horizon Oil Spill*. Pp 641-767. Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3447-8_7
- Salón-Barros, J. C. (2013). *Caracterización de la comunidad fitoplanctónica en áreas oceánicas del Caribe Colombiano durante la época seca del año 2011 (febrero y marzo)* (Trabajo de grado). Universidad del Magdalena Colombia. 69 pp.
- Tang, D., Sun, J., Zhou, L., Wang, S., Singh, R. P. & Pan, G. (2019). Ecological response of phytoplankton to the oil spills in the oceans. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1), 853-872. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1549110>
- Téllez, C., Márquez, G. & Castillo, F. (1988). Fitoplancton y ecología pelágica en el Archipiélago de San Andrés y Providencia: Crucero Océano VI en el Caribe colombiano. *Boletín Científico CIOH*, (8), 3-26.
- Tigreros, P. (2001). Biodiversidad y valoración bioquímica del fitoplancton marino en ambientes costeros mesotróficos y oligotróficos tropicales, Caribe colombiano. (Trabajo de grado). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Biología Marina.
- Tomas, C. (Ed.). (1997). *Identifying marine diatoms and dinoflagellates*. Academic Press.
- Urbano, J. E. (1993). Masas de agua del Caribe colombiano. *Boletín Científico CIOH*, 14, 3-30.
- WoRMS Editorial Board. (2019). *World Register of Marine Species*. <https://doi.org/10.14284/170>
- Wüst, G. (1964). *Stratification and circulation in the Antillean Caribbean Basin. Part 1. Spreading and mixing of water types with an oceanographic atlas*. Columbia University Press.
- Vides, M. & Alonso, D. (Eds.). (2019). *Integración, análisis y diagnóstico de información de línea base ambiental de la cuenca Caribe como apoyo a nuevas fronteras del desarrollo del sector de hidrocarburos costa afuera*. (Informe Técnico Final). Convenio 399 -19. Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH e Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés - INVEMAR.
- Yoneda, N.T. (1999). Área Temática: Plâncton. *Centro de Estudios do Mar*.



Karen Ayala-Galván

Museo de Historia Natural Marina de Colombia (MHNMC) – Maku-riwa, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andreis” – INVEMAR. Santa Marta-Magdalena, Colombia.
ayalakarenc08@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-8629-2320>

José Manuel Gutiérrez-Salcedo

Museo de Historia Natural Marina de Colombia (MHNMC) – Maku-riwa, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andreis” – INVEMAR. Santa Marta-Magdalena, Colombia.
jmgutierrezsa@unal.edu.co
<https://orcid.org/0000-0003-3724-823X>

Erika Montoya-Cadavid

Museo de Historia Natural Marina de Colombia (MHNMC) – Maku-riwa, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andreis” – INVEMAR. Santa Marta-Magdalena, Colombia.
erika.montoya@invemar.org.co
<https://orcid.org/0000-0002-9709-6787>

Fitoplancton de la provincia oceánica del mar Caribe colombiano. Diez años de historia

Citación del artículo: Ayala-Galván, K., Gutiérrez-Salcedo, J. M. y Montoya-Cadavid, E. (2022). Fitoplancton de la provincia oceánica del mar Caribe colombiano. Diez años de historia. *Biota Colombiana*, 23(1), e903.

<https://doi.org/10.21068/2539200X.903>

Recibido: 14 de septiembre 2020

Aceptado: 28 de Junio 2021