



UNIVERSIDAD
DE LA GUAJIRA

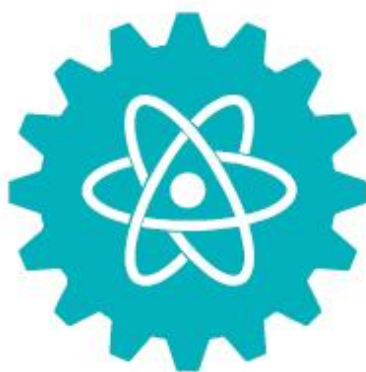
SHIKII EKIRAJIA
PÜLEE WAJIIRA

Vigilado Mineducación

Julio 2023

Diciembre

e-ISSN 2389-9484



Ciencia^e Ingeniería

Revista Interdisciplinaria de Estudios en
Ciencias Básicas e Ingenierías

Número 2 | Volumen 10

Ciencia e Ingeniería

Revista Interdisciplinaria de Estudios en Ciencias
Básicas e Ingenierías
ISSN 2389-9484

Año 2023, enero-junio, Vol. 10, N.º 2, e10370200
Facultad de Ciencias Básicas y Aplicadas y
Facultad de Ingeniería. Universidad de La Guajira
La Guajira, Riohacha, Colombia
<http://revistas.uniguajira.edu.co/index.php/cei>
Este documento fue depositado en Zenodo. DOI:
<https://www.doi.org/10.5281/zenodo.10370200>

María E. Guardo

<https://orcid.org/0009-0008-1340-326X>
meguardoduarte@gmail.com
Universidad de Cartagena
Cartagena, Colombia

Jhon Salón-Barros

<https://orcid.org/0000-0003-0498-1507>
jsalomb@uniguajira.edu.co
Universidad de La Guajira
Riohacha, Colombia

Diana María Quintana-Saavedra

<https://orcid.org/0000-0003-2010-9938>
diana.quintana@dimar.mil.co
Dirección General Marítima
Bogotá, Colombia

CARACTERIZACIÓN DE LA COMUNIDAD DE FITOPLANCTON EN LA BAHÍA DE CARTAGENA, CARIBE COLOMBIANO, DURANTE LAS ÉPOCAS SECA Y LLUVIOSA

Characterization of Phytoplankton Community in the Bay of Cartagena, Colombian Caribbean, During Dry and Rainy Seasons

RESUMEN

Con el propósito de determinar la composición, abundancia y distribución espacial de la comunidad de fitoplancton en la bahía de Cartagena, en dos épocas climáticas del año 2014 (período seco y lluvioso), se realizaron muestreos de agua superficial (un metro de profundidad) en los meses de marzo y noviembre del mencionado año, empleando botella Niskin, en 15 estaciones de la bahía de Cartagena. Se utilizó un volumen de 250 mL para el análisis de fitoplancton, el cual fue inicialmente, sedimentado durante 72 horas, para posteriormente formar una submuestra de 25 mL con la cual identificar y cuantificar el microfitoplancton con cámara Sedgwick Rafter. En este estudio, se registraron en total 128 taxa, agrupados así: dinoflagelados 63, diatomeas centrales 43, diatomeas pennadas 17, 3 clorófitas y 2 cianobacterias. Las regiones nororiental y suroriental (influenciadas por el mar Caribe) obtuvieron la mayor riqueza con 41 especies, en la época lluviosa, mientras que en la época seca la mayor riqueza, con 35 especies se obtuvo, en la región oriental (zona industrial de Mamonal). Las regiones influenciadas por el Canal del Dique presentaron las mayores abundancias en las dos épocas del año con 12.083 cel.L⁻¹ en la época seca y 151.250 cel.L⁻¹ en la época lluviosa. El grupo de los dinoflagelados predominó en la época seca y gran parte de las estaciones en la época lluviosa. Las diatomeas centrales solo obtuvieron abundancias significativas en el periodo lluvioso en estaciones con influencia del mar Caribe.

Palabras clave: Bahía de Cartagena, fitoplancton, época seca, época lluviosa, distribución, abundancia.

ABSTRACT

To determine the composition, abundance, and spatial distribution of the phytoplankton community in the Bay of Cartagena during the dry and rainy periods of 2014, surface water samples (taken at one-meter depth) were collected in March and November using a Niskin bottle. Fifteen stations across the Bay of Cartagena were sampled. For phytoplankton analysis, a 250 mL volume was utilized. Initially, the sample underwent sedimentation for 72 hours, followed by the creation of a 25 mL subsample. Microphytoplankton were then identified and quantified using a Sedgwick Rafter chamber. The study recorded a total of 128 taxa, categorized as 63 dinoflagellates, 43 coralline diatoms, 17 pennate diatoms, 3 chlorophytes, and 2 cyanobacteria. The northeastern and southeastern regions, influenced by the Caribbean Sea, exhibited the highest richness with 41 species during the wet season. Conversely, the eastern region (industrial zone of Mamonal) showed the highest richness in the dry season with 35 species. Regions influenced by the Canal del Dique demonstrated the highest abundances in both seasons, registering 12,083 cel.L⁻¹ in the dry season and 151,250 cel.L⁻¹ in the wet season. The dinoflagellate group predominated in the dry season and throughout most of the wet season, while central diatoms achieved significant abundances only during the rainy season in stations influenced by the Caribbean Sea.

Keywords: Cartagena Bay, phytoplankton, dry season, rainy season, distribution, abundance.

Recibido: 1 de noviembre de 2023

Aceptado: 3 de diciembre de 2023

Publicado: 19 de diciembre de 2023

Derechos de autor 2023: María E. Guardo, Jhon Salón-Barros, Diana María Quintana-Saavedra



INTRODUCCIÓN

El fitoplancton es una comunidad de organismos microscópicos fotosintetizadores que viven suspendidos en la zona fótica de la columna de agua, desempeña un papel importante como base de las redes tróficas y como indicador de la calidad del agua, (Kilham, 1988). Los grupos más destacados de fitoplancton son, diatomeas (Bacillariophyceae), dinoflagelados (Dinophyceae) y cianofitos (Cyanophyceae).

La bahía de Cartagena, localizada al noroeste de Suramérica, en el mar Caribe colombiano, está conformada por la bahía interna; ubicada al norte y la bahía principal o externa, conectada al mar Caribe por los estrechos de Bocachica al sur y Bocagrande, al norte (Franco-Arias et al., 2013). Geológicamente es considerada como una bahía, sin embargo, la entrada de aguas fluviales provenientes del Canal del Dique le da el calificativo de estuario (CIOH- UNOPS, 1997). La bahía de Cartagena se encuentra influenciada por diversas acciones antrópicas, entre las cuales se pueden citar, las descargas de residuos industriales, vertimiento de residuos oleosos, introducción de especies invasoras transportadas en las aguas de lastre por las actividades portuarias, y vertimientos de aguas negras domésticas, cargadas de materia orgánica y nutrientes provenientes de la ciudad de Cartagena de Indias (CIOH-UNOPS, 1997).

El fitoplancton en la bahía de Cartagena, ha sido estudiado por diversos autores, los primeros se enfocaron principalmente en la taxonomía de la comunidad fitoplanctónica (Arosemena et al., 1973; Vidal y Carbonell, 1977; Arias y Duran, 1984; García, 1987; Tigreros, 2002), luego Gavilán et al. (2005) y Cañón et al. (2005), analizaron la biodiversidad del fitoplancton en aguas de lastre de buques de tráfico internacional y en los principales muelles cargueros de la bahía de Cartagena, el último también analizó la dinámica fisicoquímica y microbiológica en estos muelles. Suarez (2007) y Osorio (2010) relacionan la composición del fitoplancton en la bahía de Cartagena con los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Así como Cañón et al. (2007) realiza esto último, pero incluyendo el componente zooplanctónico, microbiológico y fisicoquímico.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio es caracterizar la comunidad fitoplanctónica a lo largo de la bahía de Cartagena, mediante la determinación de la abundancia, composición y distribución del fitoplancton mayor a 10 μm de tamaño.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La bahía de Cartagena está localizada al noreste de Sudamérica, Caribe colombiano, entre 10°16'-10°26'N y 75°36'-75°30'W (Figura 1). La separa del mar Caribe, la isla de Tierrabomba, por lo que corresponde a una cuenca somera de $\sim 82 \text{ km}^2$ de extensión, con profundidades promedio y máxima de 16 y 26 m, respectivamente. La bahía se comunica con el mar Caribe a través de los canales de Bocagrande, al norte y Bocachica al sur, el primero, está limitado por una escollera submarina construida en la época de la colonia; las profundidades de estos canales son de aproximadamente 2,1 m y 15 m, respectivamente, siendo el principal canal de navegación el de Bocachica (Restrepo et al., 2013). La marea en la bahía es mixta, principalmente diurna, con un rango micromareal que no excede los 0,5 m (Molares, 2004).

La circulación del agua en la bahía está determinada por dos factores, el climático, caracterizado por la presencia de los vientos alisios del norte y noreste en la época seca y la Zona de Convergencia Intertropical (ZCI) en la lluviosa, y la entrada de agua dulce del Canal del Dique, por lo cual se considera un estuario (CIOH-DIMAR, 2004). En la época seca (diciembre-marzo) el agua, por acción de los vientos fluye superficialmente hacia el sur, con una contracorriente de compensación profunda hacia el norte, y las aguas fluviales del canal se acumulan en las orillas este y oeste de la bahía (CIOH-DIMAR, 2004). En el periodo húmedo o lluvioso (agosto-noviembre) se produce un aumento en el crecimiento del caudal del Canal del Dique, debido al incremento de las lluvias y el debilitamiento de los vientos, generando así una capa de agua liviana (menos densa) y salobre con movimiento superficial hacia el norte, que invade toda la bahía, observándose su influencia hasta dentro de la bahía interna, saliendo por Bocagrande, y regresándose por la orilla este de Tierra Bomba, terminando su circulación por Bocachica (CIOH-DIMAR, 2004). Con el regreso de los vientos alisios, el dominio de las aguas del Canal del Dique disminuye y las aguas vuelven a tener su salida superficial por Bocachica y se acumulan de nuevo contra los flancos sureste de la bahía.

A causa de la topografía de la bahía de Cartagena, los aportes de agua oceánica se efectúan por Bocachica hasta una profundidad de 20 metros y por Bocagrande hasta una profundidad máxima de 2 metros (Urbano, 1992).

La bahía también es impactada por factores de tipo antropogénico, al estar situado en la región norte y nororiental, el casco urbano de la ciudad de Cartagena, con cerca de 800.000 habitantes, que vierten sin ningún tratamiento el 40 % de sus aguas residuales domésticas, lo que equivale a un caudal de $57.600 \text{ m}^3 \cdot \text{día}^{-1}$ y, en la parte suroriental, la zona industrial de Mamonal con cerca de 60 industrias que vierten a esta aproximadamente de $1.364.111 \text{ m}^3 \cdot \text{día}^{-1}$ de aguas residuales industriales y $25 \text{ kg} \cdot \text{día}^{-1}$ de residuos orgánicos e inorgánicos (Osorio, 2010). A su vez, la bahía de Cartagena es un puerto marítimo importante del Caribe colombiano, con cerca de 60 muelles dedicados a diferentes actividades, y que movilizan alrededor de $500 \text{ buques} \cdot \text{mes}^{-1}$, los cuales descargan también parte de sus residuos oleosos y aguas de lastre (CIOH-CARDIQUE, 1997; CIOH-UNOPS, 1997; ACUACAR, 1999).

El aporte fluvial del Canal del Dique ha influido significativamente la hidrodinámica y composición física, química y biológica de la bahía de Cartagena, transformándola de una bahía de arrecifes coralinos con influencia de aguas marinas claras, a un estuario con grandes aportes de agua dulce, sedimentos y sólidos en suspensión (Ospina y Pardo, 1993). Durante noviembre (época lluviosa) del año 2005, se registraron sus mayores descargas de agua y sedimentos, $800 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ y $31.10^3 \text{ ton} \cdot \text{día}^{-1}$, respectivamente (Restrepo et al., 2005). En el estudio de Andrade et al. (2004) se evidencia que los sedimentos provenientes del Canal del Dique ya ocupan las partes de los fondos que antes del año 2004 eran arenosos, y el delta de este canal ya avanzó más de un kilómetro, afectando la profundidad del canal navegable de acceso a Bocagrande y la bahía interna de Cartagena.

Fase de muestreo

Muestras de agua superficiales (un metro de profundidad) fueron colectadas en 15 estaciones en la bahía de Cartagena (Figura 1), usando botella Niskin. Una vez recolectada la muestra, se envasó un volumen de 250 mL en botellas color ámbar, que contenían previamente solución fijadora de formaldehído neutralizado con tetraborato de sodio, para obtener una concentración final al 4 %. Según Sournia (1978) este método garantiza el buen estado de diatomeas, dinoflagelados y silicoflagelados para su identificación y conteo. En época lluviosa no se pudo realizar el muestreo de la estación E5, debido a condiciones climáticas adversas, razón por la cual no aparece en los resultados de este periodo.

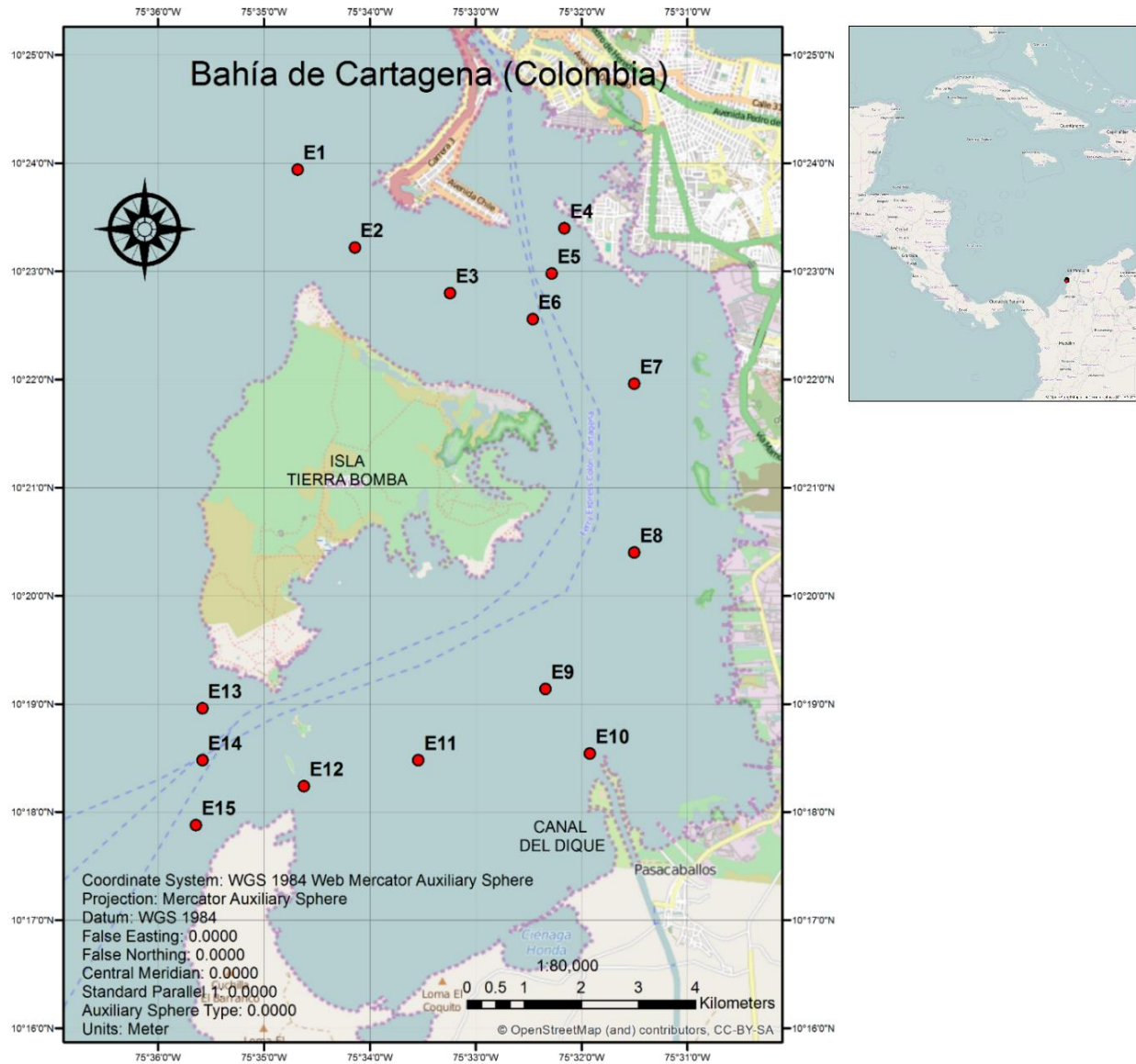


Figura 1. Mapa de estaciones de muestreo de microfitoplancton en la bahía de Cartagena, año 2014.

Fase de laboratorio

Las muestras sedimentadas por 72 horas se concentraron mediante sifoneo del sobrenadante al volumen necesario (25 mL). Inicialmente las muestras se homogenizaron para resuspender todas las células, a continuación, se pipeteó 1 mL de la submuestra para ser dispensado en cámara de Sedgewick Rafter y realizar identificación y conteo del microfitoplancton, usando microscopio óptico (objetivo 10x), hasta alcanzar un mínimo de 400 células y obtener porcentaje de error teórico del 10 % (APHA, 2015; Sournia 1978). Para la identificación taxonómica de los microorganismos se utilizaron los trabajos de DIMAR-CIOH (2011), Botes (2003), Kuwait Institute for Scientific Research (2009), Tomás, (1996) y como guía de registro de especies, los estudios de Lozano-Duque, Vidal, y Navas, (2010), Lozano-Duque, Vidal, y Navas, (2011).

Análisis estadístico

Los datos fueron organizados en matrices de abundancia (expresada en cels.L^{-1}) y riqueza de especies. Se analizaron haciendo uso de la estadística descriptiva, estableciendo los valores mínimo, máximo y promedio. Para la determinación de la distribución de los grupos de fitoplancton, a lo largo de las estaciones muestreadas, y durante los dos periodos climáticos, se aplicó el índice de similitud de Bray-Curtis. Asimismo, se verificaron los supuestos para la aplicación de la prueba Kruskal Wallis en la variable de abundancia de cada una de las estaciones, en los dos periodos climáticos, con el fin de determinar si había diferencia significativa entre estos.

RESULTADOS

La comunidad fitoplanctónica de la bahía de Cartagena estuvo compuesta por 128 taxa agrupados así: dinoflagelados 63, diatomeas centrales 42, diatomeas pennadas 18, cianobacterias 2, clorófitas 3. Se encontró un total de 82 y 108 taxa en los periodos seco y lluvioso, respectivamente. La Figura 2, muestra la riqueza que tuvieron los diferentes grupos taxonómicos en la composición de la comunidad fitoplanctónica en el año 2014. Se observa un aporte importante por parte de las clases Dinophyceae (dinoflagelados) y Coscinodiscophyceae (diatomeas centrales), en los dos periodos climáticos.

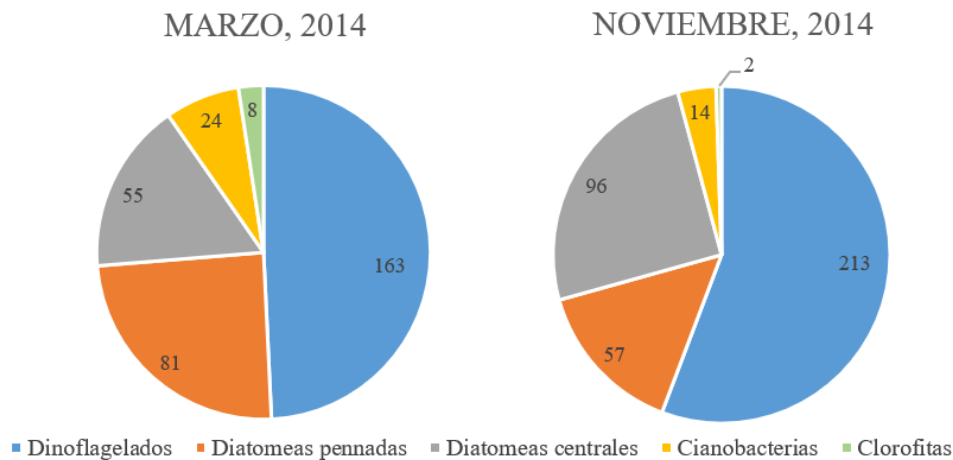


Figura 2. Composición de la comunidad de fitoplancton en la bahía de Cartagena, número de individuos en cada período climático: seca (marzo, 2014) y lluvioso (noviembre, 2014).

En el periodo seco (marzo), las estaciones con mayor número de especies fueron las E6 con 35 y E7 con 32 especies, localizadas en la región oriental, donde se encuentra situada la zona industrial de Mamonal. Así mismo, en el periodo lluvioso (noviembre) las estaciones con mayor número de especies fueron las E2 y E15 con 40 y 41 especies respectivamente, localizadas en los extremos de Bocagrande al norte y la punta de Barú al sur, respectivamente. El menor número de especies en el periodo seco se encontró en la estación E5 (13 taxones), ubicada en la región nororiental (enfrente de la bahía interna), y en el periodo lluvioso en la estación E10 (20 taxones) ubicada frente de la desembocadura del Canal del Dique (Figura 3).

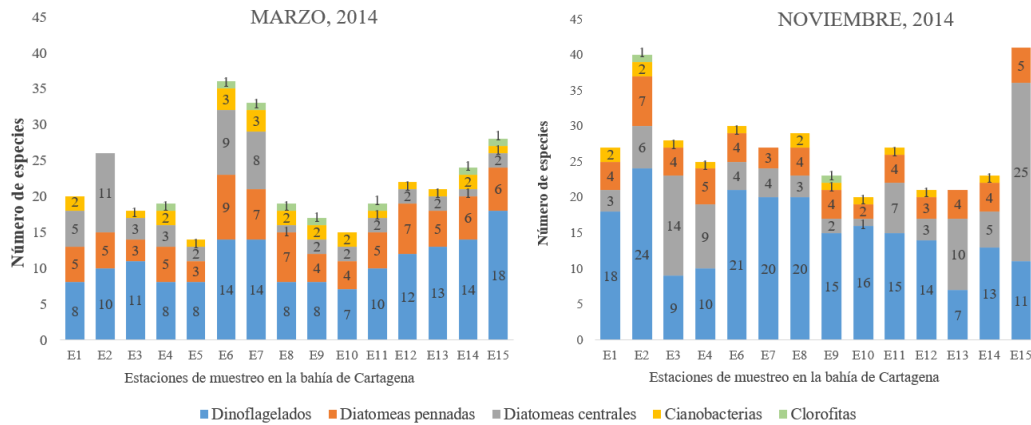


Figura 3. Riqueza de especies a lo largo de las estaciones muestreadas en la bahía de Cartagena, durante los periodos climático seco (marzo, 2014) y lluvioso (noviembre, 2014).

En ambos periodos se obtuvo predominante participación de especies de la clase Dinophyceae, específicamente, se observa un aumento de su participación en el periodo lluvioso, en la estación E2, localizada en la región noroccidental (extremo de Bocagrande), mientras que en la estación E15, ubicada en la región suroccidental (punta de Barú) se evidencia una disminución de la participación de dinoflagelados, en el periodo lluvioso (Figura 3).

En el periodo lluvioso hubo un aumento en la participación de especies pertenecientes a la clase Coscinodiscophyceae (diatomeas centrales), concretamente, en la estación E15 (punta de Barú), mientras que en estación E2 ubicada al noroccidente las diatomeas centrales disminuyeron su ocurrencia. También se evidencia una disminución en su aparición, en las estaciones ubicadas frente al sector industrial E6 y E7 (Figura 3).

El promedio de las abundancias fue de 68.982 cel.L⁻¹ en la época seca y 84.312 cel.L⁻¹ en la época lluviosa. Las máximas abundancias (Figura 4) fueron de: 146.000 cel.L⁻¹ y 151.250 cel.L⁻¹, en los periodos seco y lluvioso respectivamente, y estuvieron ubicadas en la misma región (frente a la desembocadura del Canal del Dique). Así como las mínimas abundancias fueron de 125 cel.L⁻¹ en ambos periodos.

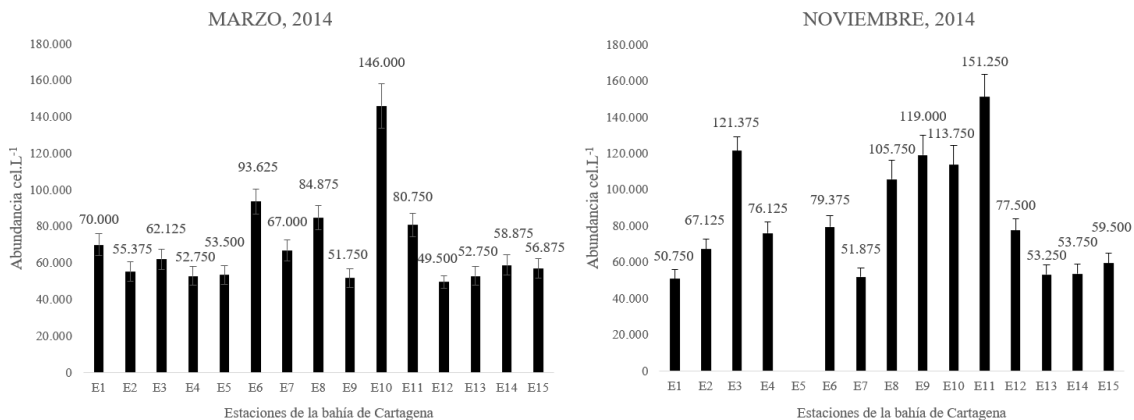


Figura 4. Abundancia en cel.L⁻¹ de microfitoplancton a lo largo de la bahía de Cartagena, en los periodos seco y lluvioso del 2014.

En cuanto a la abundancia porcentual, se obtuvo que los dinoflagelados predominaron en la bahía durante la época seca, mientras que en la época lluviosa disminuyó su ocurrencia y se incrementó el predominio de diatomeas centrales (Figura 5). Con respecto a las diatomeas pennadas, se observó que estas fueron abundantes en la época seca, mientras que en la lluviosa disminuye su predominancia por el incremento de la abundancia porcentual de las diatomeas centrales (Figura 5). Las cianobacterias y clorófitas no fueron significativas en cuanto a su abundancia, sin embargo, se observó el mayor número de individuos de estos grupos en la época lluviosa.

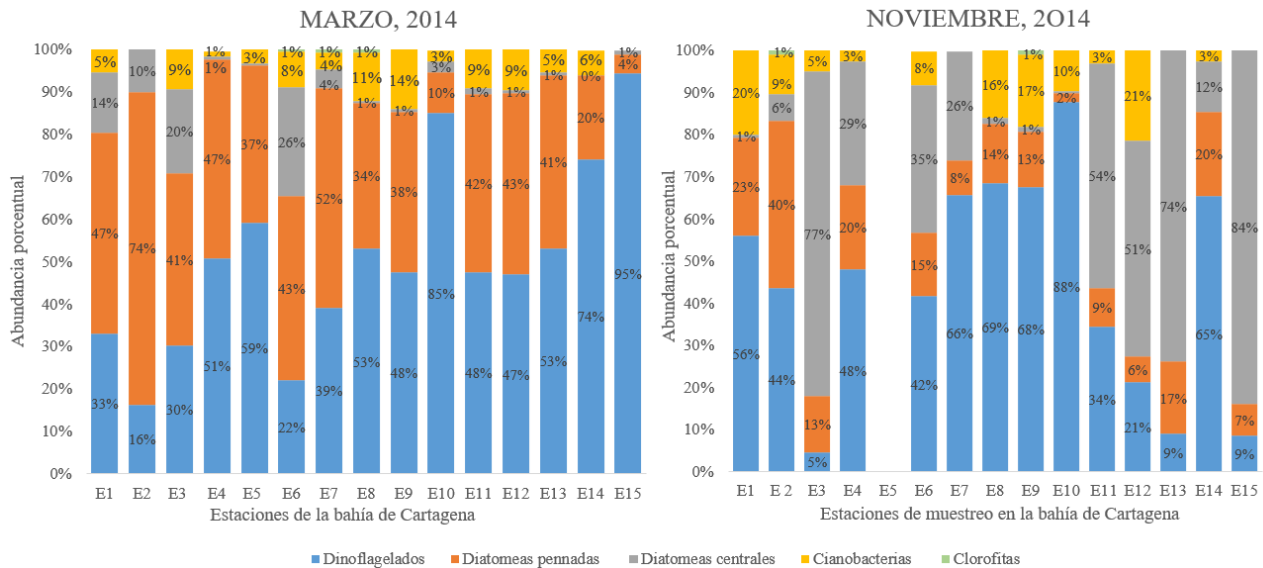


Figura 5. Abundancia porcentual de los diferentes grupos de fitoplancton encontrados a lo largo de las 15 estaciones muestreadas en la bahía de Cartagena, en dos periodos climáticos, seco (marzo, 2014) y lluvioso (noviembre, 2014).

En el periodo seco los dinoflagelados tuvieron su mayor dominancia en las estaciones E10 (influencia de Canal del Dique) y E15 (punta de Barú) (Figura 5), con abundancias de 146.000 cel.L⁻¹ y 56.875 cel.L⁻¹, respectivamente. En el periodo húmedo, también se obtuvo la mayor dominancia de dinoflagelados en la estación E10, pero disminuyó significativamente en la estación E15 (Figura 5). En esta estación se observó una sucesión, en la cual, la dominancia de dinoflagelados disminuyó de 95 % en época seca a 9 % en época lluviosa, siendo las diatomeas centrales las más dominantes en el periodo lluvioso con 84 %. Así mismo en las estaciones E11, E12 y E13, las diatomeas centrales aumentaron su dominancia, de 1 % en el periodo seco a 54 %, 51 % y 74 % respectivamente, en el periodo húmedo, y en la estación E3 se aumentó de 20 % en el periodo seco a 77 % en el periodo lluvioso (Figura 5).

En el periodo seco, la clase Cyanophyceae estuvo presente en todas las estaciones de la bahía de Cartagena, excepto en las estaciones E2 y E15, igualmente ocurrió en el periodo húmedo, excepto en las estaciones E7, E13 y E15. La clase Chloophyceae solo estuvo presente en las estaciones E6, E7, E8, en el periodo seco, y en el periodo lluvioso en las estaciones E2 y E9.

Durante el periodo seco los taxa más abundantes fueron: *Chaetoceros lacinosus* con 19.250 cel.L⁻¹, en la estación E6. *Thalassionema nitzschioides*, del grupo de las diatomeas pennadas con 31.000 cel.L⁻¹ en la estación E12 (seguida de la E6), aunque es predominante en las demás estaciones de la bahía de Cartagena, excepto en la estación E15, donde no se reportó su presencia. *Gonyaulax* sp. fue el taxa

perteneciente al grupo de los dinoflagelados más abundante ($43.600 \text{ cel.L}^{-1}$) de la bahía de Cartagena, en el periodo seco, predominantemente en la E10, frente a la desembocadura del Canal del Dique.

Por otra parte, en el periodo lluvioso, *Chaetoceros socialis*, obtuvo la mayor abundancia con $61.750 \text{ cel.L}^{-1}$ en la estación E11, cerca de la desembocadura del canal del Dique, hacia la parte norte, de la bahía. Nuevamente, *Thalassionema nitzschioides* obtiene la mayor abundancia del grupo de las diatomeas pennadas, pero esta vez, en menor número, con $17.125 \text{ cel.L}^{-1}$, en la estación E2; así como también, *Gonyaulax* sp. repite su comportamiento de alta abundancia con $30.000 \text{ cel.L}^{-1}$, en la estación E10. Finalmente, de los demás grupos reportados en este estudio (cianobacterias y clorófitas), *Oscillatoria* sp., perteneciente a las cianobacterias, alcanzó la mayor abundancia con $20.500 \text{ cel.L}^{-1}$, en la estación E9.

Del índice de similitud de Bray-Curtis aplicado para obtener la distribución de la comunidad de fitoplancton a lo largo de la bahía de Cartagena, en las dos épocas climáticas; se obtuvieron dos dendogramas (Figura 6 y Figura 7). En los dendogramas se observa que en la época seca la distribución de los taxa estuvo determinada por la presencia de diatomeas pennadas principalmente en la zona noroccidental y parte de la nororiental; y por el grupo de los dinoflagelados en la zona suroccidental y suroriental.

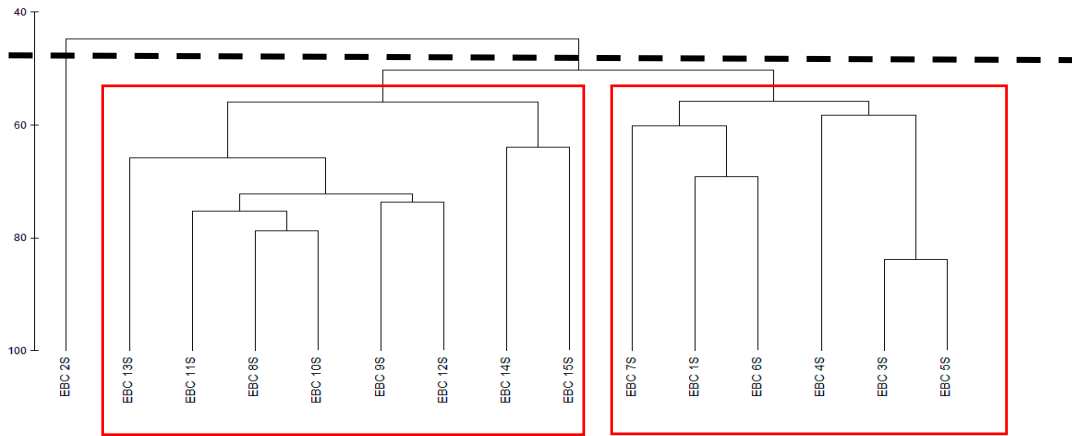


Figura 6. Dendrograma de agrupación de la comunidad de fitoplancton con base a datos de abundancia de taxa. Época seca (marzo, 2014).

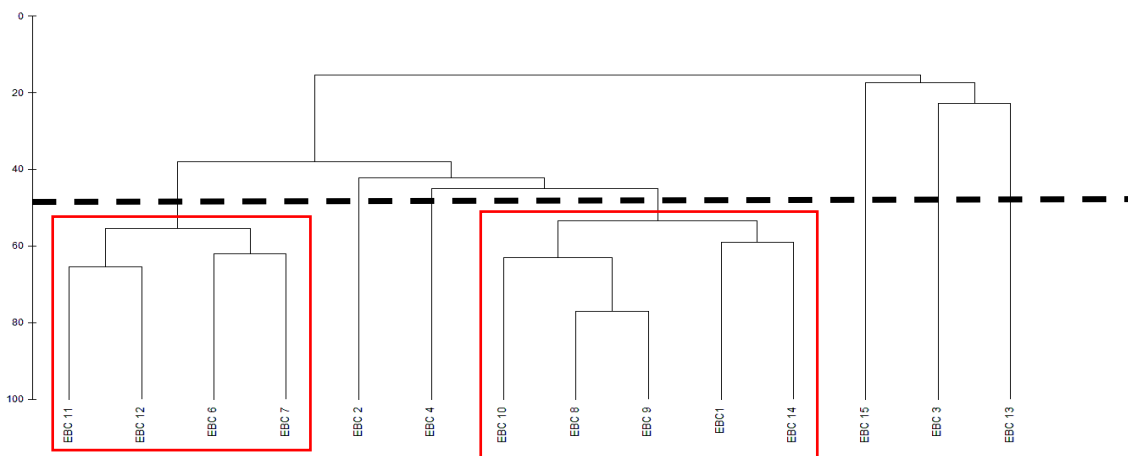


Figura 7. Dendrograma de agrupación de la comunidad de fitoplancton con base en datos de abundancia de taxa. Época lluviosa (octubre, 2014).

El análisis de similaridad de Bray-Curtis reveló que en la época lluviosa hubo tres estaciones (E15, E3 y E13) no agrupadas. Esta zona como se mencionó anteriormente estuvo dominada con abundancia porcentual respectiva de 84 %, 77 % y 74 % por las diatomeas centrales, mientras que las estaciones E1, E14, E8, E9 y E10 no obtuvieron participación de este grupo (excepto por la E14 con 14 % de diatomeas centrales). Y el grupo de las E11, E12, E6 y E7 se caracteriza por una abundancia porcentual entre el 56 % al 26 %. Por otra parte, la estación E2 que estuvo de los grupos formados, obtuvo una abundancia porcentual de 40 % de diatomeas pennadas (la más alta de toda la bahía).

DISCUSIÓN

En este estudio, a lo largo de las estaciones de la bahía de Cartagena, no hubo diferencia significativa en la abundancia entre los dos periodos climáticos, excepto en las estaciones E6 y E7 con un p-Valor de 0.05487 y 0.05062, respectivamente. No obstante, esta fue mayor en la época seca, al igual que la riqueza de especies, esto se asemeja a lo reportado por Gavilán *et al.*, (2005), Cañón *et al.*, (2005) y Osorio (2010). Aunque contrario a lo reportado en los estudios de Arosemena *et al.* (1973), Vidal y Carbonell (1977), Arias y Durán (1982), Tigreros (2002) y Suárez (2007).

El grupo de los dinoflagelados dominó la bahía de Cartagena durante el periodo seco (marzo) y gran parte de las estaciones en la época lluviosa durante el año 2014. Este resultado difiere de los obtenidos en estudios previamente realizados en esta área, donde también se identificó y cuantificó la comunidad de fitoplancton (Arosemena *et al.* 1973; Vidal y Carbonell, 1977; Arias y Durán, 1982; Tigreros, 2002; Cañón *et al.* 2005; Gavilán *et al.* 2005; Suárez, 2007; Osorio, 2010), y en los cuales se encontró que el grupo de las diatomeas centrales era el más predominante en la bahía de Cartagena.

Dichos estudios concuerdan con Balech (1977), Dawes (1991) y Lalli y Parsons (1997), los cuales señalan que las diatomeas centrales son el grupo "más abundante y evidente de las aguas marinas". Esto es indicador de los cambios en las características fisicoquímicas del agua ocurridos en la bahía de Cartagena, representado principalmente en los parámetros, salinidad, nitratos, amonio, fosfatos, SST y DBO₅ (Suarez, 2007 y Osorio, 2010). Lo anterior se debe principalmente a los aportes de agua continental del río Magdalena, a través del canal del Dique, estructura que "ha cambiado y sigue dominando la morfo e hidrodinámica de la bahía de Cartagena" (Andrade *et al.*, 2004). Se destaca también la presencia de la zona de industrial de Mamonal y la sociedad portuaria, en donde se han encontrado altos niveles de nitratos (0,2346 mg.L⁻¹) y ortofosfatos (0,4593 mg.L⁻¹) (Quintana-Saavedra *et al.*, 2012), conllevando todos estos factores a procesos de eutrofización (Roldan, 1992).

En un estudio *in vitro*, realizado para determinar los efectos de diferentes concentraciones de nutrientes sobre la comunidad de fitoplancton, se concluyó que, con el aumento excesivo de las concentraciones de nutrientes y del pH, las diatomeas decrecen, siendo reemplazadas por los dinoflagelados (Hans *et al.*, 2015). Es de anotar que Osorio (2010) reportó los niveles más altos de pH (8,34) durante la época seca, así como una mayor abundancia de dinoflagelados en esta época. Por ende, se plantea que la predominancia de este grupo en la época lluviosa puede deberse al aumento de las concentraciones de nutrientes ocasionada por la resuspensión de sedimento de aguas profundas, así como por mayores niveles de pH.

De igual forma, las mayores abundancias de dinoflagelados en el periodo lluvioso se encontraron en zonas con influencia antrópica y fluvial, al igual que en los estudios realizados por Regadera *et al.* (2004) en la bahía de La Habana, y Moreira *et al.* (2007) en la bahía de Cienfuegos, ambas con los factores de influencia mencionados anteriormente. Se reafirma lo señalado por Balech (1977), Dawes (1991) y Lalli y Parsons

(1997) sobre las diatomeas centrales puesto que estas fueron encontradas en mayor abundancia en el periodo lluvioso en las estaciones influenciadas por el mar Caribe (E3 y E15).

Los taxas *Chaetoceros socialis*, *Chaetoceros curvisetus*, *Chaetoceros laciniosus*, *Bacteriastrum furcatum*, *Bacteriastrum delicatulum* y *Bacteriastrum hyalinum* fueron hallados en estaciones con influencia oceánica (E3 y E15). Esto también fue reportado por Suarez (2007) y Osorio (2010) en estaciones de muestreo con influencia del mar Caribe en la bahía de Cartagena y por Salón-Barros (2013) en su estudio del fitoplancton en áreas oceánicas del Caribe, donde son más abundantes y con mayor riqueza de especies el grupo de las diatomeas centrales. Cabe destacar que, el muestreo de estos tres estudios se realizó con botella oceanográfica, tal y como se realiza en este trabajo, permitiendo de esta manera su comparación.

Contrario a lo que se encontró en los estudios de Vidal y Carbonell (1977), Arias y Duran (1984), Cañon *et al.* (2005), Suarez (2007) y Osorio (2010), quienes describen a la especie *Skeletonema costatum* como: "predominante en la mayoría de las estaciones de muestreo y en todos los periodos climáticos, especialmente en los de transición y lluvioso"; en este estudio, dicho taxa solo fue encontrado abundantemente ($52.875 \text{ cel.L}^{-1}$) en el periodo lluvioso en una estación (E3) y, en menor medida con 3.750 cel.L^{-1} , en la estación E4.

Adicionalmente, la especie *Thalassionema nitzschioides* se registró con altas abundancias, en la mayoría de las estaciones de muestreo de este estudio durante la época seca, concordando, con el estudio realizado en la bahía de Cartagena de Osorio (2010). No obstante, esto no es similar a lo reportado por los estudios de Arosemena *et al.* (1973), Vidal y Carbonell (1977), Arias y Durán (1982), Tigreros (2002), Cañon *et al.* (2005), Gavilán *et al.* (2005) y Suárez (2007); en donde es reportado el taxa, pero este no representa abundancias significativas. No obstante, se conoce que esta especie se caracteriza por ser típica de ambientes estuarinos, nerítica y encontrarse cerca de litorales (Vidal, 1995; Cassis *et al.*, 2002).

Se evidenció la influencia de agua dulceacuícola sobre la bahía de Cartagena, debido a la presencia de especies típicas de este ambiente (Moreira, 2007), como *Scenedesmus falcatus*, *Scenedesmus quadricuada*, *Closterium sp.*, *Selenastrum sp.* pertenecientes a la clase Chlorophyceae, y *Oscillatoria sp.*, perteneciente a la clase Cyanophyceae, principalmente en el periodo lluvioso. Estos organismos han sido catalogados como indicadores de sistemas eutroficados, mesotroficados, con cambios de pH o estratificación térmica (Suarez, 2007). Así mismo, se registra la dominancia de individuos pertenecientes al grupo dinoflagelados, conocidos por causar mareas rojas (Hallegraeff, 1992), como *Gonyaulax sp.*, *Alexandrium sp.*, *Scrippsiella sp.*, en las estaciones E8 y E10 (sector de Mamonal e influencia del Canal del Dique, respectivamente) durante la época seca y lluviosa.

CONCLUSIONES

La comunidad de fitoplancton en la bahía de Cartagena en el año 2014 no tuvo diferencia significativa en cuanto a la abundancia (cel.L^{-1}) en los dos periodos climáticos. La mayor riqueza ocurrió en la época lluviosa. El grupo de los dinoflagelados dominó las estaciones muestreadas en la bahía de Cartagena en el año 2014, principalmente en el periodo seco, representando un cambio en la composición fitoplanctónica de la bahía, con respecto a estudios anteriores. Mientras que las diatomeas centrales aumentaron en abundancia durante el periodo lluvioso y fueron representativas en estaciones con influencia del mar Caribe. Se destaca la alta abundancia de taxas como *Gonyaulax sp.*, *Alexandrium sp.* y *Scrippsiella sp.*, conocidas por ser causantes de florecimientos algales. Las diatomeas pennadas fueron más abundantes que las diatomeas centrales en el periodo seco, mientras que lo contrario ocurrió en el periodo lluvioso.

LITERATURA CITADA

- ACUACAR. (1999). Evaluación de la calidad de los sedimentos en la desembocadura del canal del Dique. Fundación Universidad del Norte - Laboratorio Aguas de Cartagena. Cartagena de Indias. Colombia. 53 p.
- Andrade, C., Thomas, Y., Lonin, S., Parra, C., Kunesch, S., Menanteau, L., Andriau, A., Piñeres, C. & Velasco, S. (2004). Aspectos morfodinámicos de la bahía de Cartagena de Indias. Bol. Cient. CIOH. 22. <https://doi.org/10.26640/22159045.124>.
- APHA. (2015). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22 ed.
- Arias, F. A. & Durán, J. C. (1982). *Variación anual del fitoplancton en la bahía de Cartagena para 1980*. Cartagena. Tesis de grado, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Arias, F. A. & Durán, J. C. 1984. Variación anual del fitoplancton en la bahía de Cartagena. Bol. Cient. CIOH, 5. 61–116 p. <https://doi.org/10.26640/22159045.17>
- Arosemena, D., Cárdenas, H., Garzón, F., Ibáñez, F., Moreno, C. & Sierra, J. (1973). Algunos dinoflagelados y diatomeas de la bahía de Cartagena y alrededores. Informe Museo del Mar. 81 p.
- Balech, E. (1977). Introducción al fitoplancton marino. Editorial Universitaria de Buenos Aires. Argentina. 211 p. <https://doi.org/10.2216/i0031-8884-18-3-303.1>
- Botes, L. (2003). Phytoplankton Identification Catalogue-Saldanha Bay, South Africa, April 2001. GloBallast Monograph Series No. 7. IMO London.
- Cañón, M. L., Tous, G., López, K., López, R. & Orozco, F. (2007). Variación espacio temporal de los componentes fisicoquímico, zooplanctónico y microbiológico de la bahía de Cartagena. 2007. Bol. Cient. CIOH No. 25. 120–134 p. <https://doi.org/10.26640/22159045.168>
- Cañón, M. L., Vanegas, T., Gavilán, M., Morris, L. F. & Tous, G. (2005). Dinámica planctónica, microbiológica y fisicoquímica en cuatro muelles de la bahía de Cartagena y busques de tráfico internacional. Bol. Cient. CIOH No. 23. 46–59 p. <https://doi.org/10.26640/22159045.138>
- Cassis, D., Muñoz, P. & Avaria, S. (2002). Variación temporal del fitoplancton entre 1993 y 1998 en una estación fija del seno Aysén, Chile. (45°26'S 73°00'W). Revista de Biología Marina y Oceanografía 37(1): 43-65.
- CIOH-CARDIQUE. (1997). Caracterización y diagnóstico integral de la zona costeras comprendida entre Galerazamba y bahía de Barbacoas. Tomo I y II. Dirección General Marítima. Convenio de cooperación CIOH-CARDIQUE. Cartagena. Colombia. 694 p.
- CIOH-DIMAR. (2004). Régimen de vientos y corrientes bahía de Cartagena. Cartagena de Indias. D.T. y C. – Colombia. 24 p.
- CIOH-UNOPS. (1997). Proyecto regional de planificación y manejo de bahías y áreas costeras fuertemente contaminadas del Gran Caribe. Caso bahía de Cartagena, Colombia. Informe ejecutivo del resultado 1.1 "Estudios que identifican la condición ambiental del ecosistema, grado de impacto sobre los

componentes biológicos, potencial de la capacidad de recuperación y acciones de rehabilitación del sistema de la bahía de Cartagena. Cartagena de Indias. 146 p + anexos.

- Dawes, C. J. (1991). *Botánica Marina*. Primera edición. Editorial Limusa. México D.F. 673 p.
- DIMAR-CIOH.2011. Catálogo de fitoplancton de 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. 109 p. <https://doi.org/10.26640/52.2011>
- Franco-Arias, D. A., Restrepo López, J. C., Sanabria Ruíz, N. Y. & Gutiérrez, J. C. (2013). Caracterización y distribución de facies sedimentarias en la bahía de Cartagena Colombia. *Boletín de Geología*. 35(1).
- García, R. (1987). Composición, distribución vertical y abundancia de tintinidos y dinoflagelados en la bahía de Cartagena entre septiembre y diciembre de 1984. Trabajo de grado para optar por el título de Biólogo Marino. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 148 p.
- Gavilán, M., Cañón, M. & Tous, G. (2005). Comunidad fitoplanctónica en la bahía de Cartagena y en aguas de lastre de buques de tráfico internacional. *Boletín Científico CIOH* No. 23. 60–75 p. <https://doi.org/10.26640/22159045.139>
- Hallegraef, G. (1992): Harmful algae blooms in the Australian region. *Mar. Pol. Bull.* (25):186-190. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(92\)90223-S](https://doi.org/10.1016/0025-326X(92)90223-S)
- Hans, H. J., Blanda, E., Staehr, P. A., Højgaard, J. K., Rayner, T. A., Pedersen, M. F., Jepsen, P. M. & Hansen, B. (2015). Development of phytoplankton communities: Implications of nutrients injections on phytoplankton composition, pH and ecosystem production. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 473: 81-89. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2015.08.011>
- Kilham, P. & R. E. Hecky. (1988). Comparative ecology of marine and freshwater phytoplankton. *Limnology and Oceanography*. 33:776-795. <https://doi.org/10.4319/lo.1988.33.4part2.0776>
- Kuwait Institute for Scientific Research. (2009). *Marine Phytoplankton Atlas of Kuwait's Waters*. Safat, Kuwait.
- Lalli, C. & Parsons, T. (1997). *Biological Oceanography: an introduction*. Second edition. Oxford: Butterworth-Heinemann. Great Britain. 314 p.
- Lozano-Duque, Y., Vidal, L. A. & Navas, G. R. (2010). Listado de diatomeas (Bacillariophyta) registradas para el mar Caribe colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 39(1): 83-116. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2010.39.1.144>
- Lozano-Duque, Y., Vidal, L. A. & Navas, G. R. (2011). Listado de especies de dinoflagelados (Dinophyta) registrados en el mar Caribe colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 40(2): 361-380.
- Molares, R. (2004). Clasificación e identificación de los componentes de marea del Caribe colombiano. *Bol.Cient. CIOH*, 22: 105-114. <https://doi.org/10.26640/22159045.132>
- Moreira, A., Seisdedo, M., Leal, S., Comas, A., Delgado, G., Regadera, R., Alonso, C., Muñoz, A. & Abatte, M. (2007). Composición y abundancia del fitoplancton de la bahía de Cienfuegos, Cuba. *Rev.Invest.Mar.* 28 (2):97-109 p.

- Osorio, C. (2010). Dinámica espacio-temporal del fitoplancton en la bahía de Cartagena y su relación con parámetros fisicoquímicos en un ciclo climático anual. Trabajo de grado para optar por el título de Biólogo Marino. Universidad de Bogotá Tadeo Lozano. 144 p.
- Ospina, J. & Pardo, F. (1993). Evaluación del estado de madurez gonadal y los hábitos alimenticios de la ictiofauna presente en la bahía de Cartagena. Trabajo de grado para optar el título de Biólogo Marino. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 47p + anexos.
- Quintana-Saavedra, D. M., Cabrera, M., Tous Herazo, G. & Echeverry, G. (2012). Aislamiento de microorganismos, oligotróficos degradadores de hidrocarburos en la bahía de Cartagena, Colombia. Bol. Cient. CIOH. 30:3-12.
- Regadera, R., Carmenate, M. & G. Delgado. (2004). Evolución de los niveles de eutrofización en la bahía de La Habana según los análisis del fitoplancton y la clorofila a. Rev. Cub. Invest. Pesq. Número especial 2004. III Taller Internacional CONyMA 2004.
- Restrepo, J. D., Zapata, P. Diaz, J. M., Garzón-Ferreira, J., García, C. & Restrepo, J. C. (2005). Aportes fluviales al mar caribe y evaluación preliminar del impacto sobre los ecosistemas costeros. En: Restrepo, J. D. (ed). Los sedimentos del río Magdalena: reflejo de la crisis ambiental. Fondo Editorial Universidad EAFIT, 187-215 pp.
- Restrepo J. C., Franco, D., Escobar, J., Correa, I. D., Otero, L., Gutiérrez, J. (2013). Bahía de Cartagena (Colombia): distribución de sedimentos superficiales y ambientes sedimentarios. Latin American Journal of Aquatic Research. 41 (1):99-112. <http://dx.doi.org/103856/vol41-issue1-fulltext-8>
- Roldan, G. (1992). Fundamentos de limnología neotropical. Universidad de Antioquia. Colombia. 1992. 529 p. <https://repositorio.accefyn.org.co/handle/001/71>
- 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 para optar por el título de Biólogo. Universidad del Magdalena.
- Sournia, A. (1978). Phytoplankton manual. UNESCO. Paris. 337 p.
- Suarez, V. (2007). Biodiversidad de fitoplancton en aguas de lastre de buques de tráfico internacional y en los principales muelles cargueros de la bahía de Cartagena, Colombia. Trabajo de grado para optar por el título de Biólogo Marino. Universidad de Bogotá Tadeo Lozano. 103 p.
- Tigreros, P. (2002). Presencia de organismos exógenos y patógenos en aguas de lastre buques tráfico internacional, Fase I. Componente fitoplanctónico. Informe. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas de la Armada Nacional de Colombia. Cartagena – Colombia. 41 p.
- Tomás, C. (1996). Identifying marine diatoms and dinoflagellates. Academic Press. California. 598 p.
- Urbano, J. (1992). Estado actual de la bahía de Cartagena v/s contaminación. Boletín Científico CIOH No. 10. 3–12 p. <https://doi.org/10.26640/22159045.36>
- Vidal, L. y Carbonell, M. (1977). Diatomeas y dinoflagelados de la bahía de Cartagena. Trabajo de grado para optar por el título de Biólogo Marino. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 371 p. + anexos.

BIODATA

María E. Guardo: Bióloga, especialista en estadística aplicada, maestranda en microbiología de la Universidad de Cartagena, Colombia.

Jhon Salón-Barros: Biólogo, especialista en gestión ambiental. Magister en oceanografía por la Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla, Cartagena, Bolívar, Colombia. Doctorando en Ciencias Marinas en la Universidad del Norte: Barranquilla, Atlántico, Colombia. Profesor de la Facultad de Ciencias Básicas de la Universidad de La Guajira, Colombia.

Diana María Quintana-Saavedra: Microbióloga Industrial por la Universidad Javeriana, Colombia. Doctora en Ciencias Marinas por la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia. Jefa del componente de calidad del agua en la primera expedición colombiana a la Antártida 2014-2015. Cuenta con veintitrés años de experiencia en la Autoridad Marítima Nacional en asuntos antárticos; implementación de convenios internacionales de la IMO y con el monitoreo y manejo del patrimonio cultural subacuático. Actualmente, es la directora del grupo de investigación de patrimonio cultural sumergido en el Centro de Investigación Oceanográfica e Hidrográfica. Dirección General Marítima, Colombia. Publicaciones recientes: (2023). On the Survey of "La Escollera" and a Submerged Structure Related to Fort San Matías in the Bay of Cartagena de Indias. *Journal of Maritime Archaeology* (10.1007/s11457-023-09374-3). (2023). A Methodological Proposal for the Management of Submerged Cultural Heritage: Study Cases from Cartagena de Indias, Colombia. *Journal of Marine Science and Engineering*. (10.3390/jmse11040694). (2022). El avance de la línea de costa de las penínsulas de Bocagrande y Castillogrande y la construcción de la Escollera en 1758 en Cartagena de Indias. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. (<https://raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/1722/3285>).