

LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA DURANTE EVENTOS DE SURGENCIA Y NO SURGENCIA, EN LA ZONA COSTERA DEL DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA, CARIBE COLOMBIANO

Jeimmy Samanta Ramírez-Barón, Andrés Franco-Herrera, Lorena Marcela García-Hoyos y Diego Alejandro López

Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Programa de Biología Marina. Carrera 2, No. 11-68, Edificio Mundo Marino, El Rodadero, Santa Marta, Colombia. samantha8462@yahoo.com (J.S.R.B.), andres.franco@utadeo.edu.co (A.F.H.)

RESUMEN

Se evaluaron algunos atributos estructurales de la comunidad fitoplanctónica en las ensenadas de Granate y Gaira y bahía de Taganga, con el fin de establecer su respuesta a cambios en la dinámica oceanográfica, modulada por pulsos de surgencia y no surgencia en la zona costera del departamento del Magdalena, Caribe colombiano, en el período comprendido entre febrero-junio de 2008, correspondiente a época seca mayor y lluviosa menor. La velocidad del viento indicó la división de dos períodos febrero-abril (en presencia de surgencia: S) y junio-julio (no surgencia: NS) de 2008. Para cada período (S-NS), se identificaron en total 51-47 géneros distribuidos en 29-28 familias, correspondiendo el 78.23-86.19 % a diatomeas céntricas, el 16.68-9.47 % a diatomeas pennadas, el 4.57-3.78 % a cianobacterias y cerca del 0.5-0.55 % a dinoflagelados, flagelados y clorófitas. Los géneros con mayor abundancia fueron *Chaetoceros* (colonial) y *Skeletonema* (colonial) alcanzando una abundancia relativa de 47-19.57 % y 8.13-60.93 %, respectivamente, con densidades superiores a 2000 cel/L. Las concentraciones de clorofila *a* ostentaron valores bajos a lo largo de las sesiones en estudio, pasando de 0.72 ± 0.47 mg/m³ durante S, a 0.15 ± 0.15 mg/m³ en NS. El Índice de Actividad Fotosintética (IAF₁) de 6.34 ± 5.34 , indica una alta calidad de los pigmentos o el poco pastoreo por parte del zooplancton, representando entonces un estado fisiológico óptimo en condiciones de S. En contraste, el bajo valor promedio del IAF₁ de 0.52 ± 0.84 propio del período de NS, indica un amplio declive en el estado fisiológico de la comunidad fitoplanctónica. Se evidenció un patrón de segregación temporal definido por la densidad celular de 22142.23 ± 15236.72 cel/L y 13588.58 ± 12608.455 cel/L para períodos de S y NS, respectivamente. La temperatura superficial del mar, salinidad y concentración de nitratos (0-60 m de profundidad), fueron las variables que mejor representaron la variabilidad de los períodos climáticos e influenciaron significativamente la estructura de la comunidad fitoplanctónica.

PALABRAS CLAVES: Fitoplancton, Surgencia, Caribe colombiano, Clorofila *a*, Diversidad.

ABSTRACT

Phytoplankton communities during upwelling and non-upwelling events, in the Magdalena coastal zone, Colombian Caribbean. The phytoplankton community structural attributes were evaluated in Granate and Gaira inlets and Taganga Bay in order to establish the community's response to changes in oceanographic dynamics modulated by upwelling and non-upwelling processes throughout the coastal waters of the Magdalena region, Colombian Caribbean, between February and June of 2008, during the main dry and short rainy seasons. Average wind speed divided in the research period in two seasons: February-April (upwelling: S) and June-July (non upwelling: NS) of 2008. In each period (upwelling and non-upwelling), 51-47 genera were identified distributed in 29-28 families, corresponding 78.23-86.19 % to centric diatoms, 16.68-9.47 % to pennate diatoms, 4.57-3.78 % to cyanobacteria and about 0.50-0.55 % to dinoflagellates, flagellates, and chlorophyta. The most abundant genera were *Chaetoceros* (colonial) and *Skeletonema* (colonial) with a relative abundance of 47-19.57 % and 8.13-60.93 %, respectively, and densities greater than 2000 cel/L. Chlorophyll *a* concentrations showed low values in this study from 0.72 ± 0.47 mg/m³ during S until 0.15 ± 0.15 mg/m³ during NS. The photosynthetic activity index (IAF_p) of 6.34 ± 5.34 indicates either high pigment quality or low zooplankton grazing, representing an optimal phytoplankton physiological state during periods of S. In contrast, the IAF low average value of 0.52 ± 0.84 at NS indicates a wide decline in the phytoplankton community's physiological state. A temporal segregation pattern was defined by cell densities from 22142.23 ± 15236.72 cel/L to 13588.58 ± 12608.45 cel/L, for S and NS periods, respectively. Temperature, salinity, and nitrate concentration (0-60 m depth), were the variables that represented the most seasonal changes, and affected the phytoplankton community structure.

KEY WORDS: Phytoplankton, Upwelling, Colombian Caribbean, Chlorophyll *a*, Diversity.

INTRODUCCIÓN

La dinámica temporal y espacial de los organismos marinos está enmarcada en una serie de interacciones entre las variables ambientales y las características fisiológicas de los individuos (Álvarez, 1981; Wetzel, 1981), es decir, relaciones abióticas-bióticas. El fitoplancton depende principalmente de la oferta de luz, nutrientes inorgánicos y de la temperatura (Lynch y Poole, 1979), y es el responsable de recibir y transformar la energía solar en energía química y así ser la fuente primaria de materia orgánica para el sostenimiento de las redes tróficas. Cuando se aplican estos conceptos al Caribe centro-sur de Colombia, se encuentra que la información en la mayoría de los casos tiende a ser descriptiva, sin profundizar en la explicación de las variaciones de los autótrofos en respuesta a los cambios ambientales. Es así como los estudios acerca de la ecología y ensamblaje fitoplanctónico en diferentes puntos del Caribe colombiano coinciden en señalar al grupo de las diatomeas como el más dominante en la comunidad microfítplanctónica, seguido por los dinoflagelados. Igualmente, establecen cambios en la densidad de dichos grupos, en respuesta probablemente a cambios en la estratificación del agua (Caicedo, 1975; Corredor, 1979a; Duarte, 1996; Tigreros, 2001; Franco-Herrera y Torres-Sierra, 2006; Franco-Herrera *et al.*, 2006; Suárez-Villalba *et al.*, 2007). Además, son coincidentes en

determinar valores de biomasa (*i.e.* clorofila *a*) y densidad celular fitoplanctónica fluctuantes en las diferentes épocas climáticas, alcanzando mayores valores durante la época lluviosa (Franco-Herrera, 2001, 2005, 2006; Tigreros, 2001; Franco-Herrera y Torres-Sierra, 2006; Arévalo-Martínez y Franco-Herrera, 2008), sugiriendo, mas no confirmando la importancia potencial del aporte de nutrientes por parte de los ríos y los eventos de surgencia (Webber y Roff, 1996).

Estos conceptos toman mayor relevancia en la zona costera del departamento del Magdalena, donde la presencia de la corriente del Caribe (generada por los vientos provenientes del noreste), la contracorriente de Panamá (generada por vientos provenientes del suroeste) (Franco-Herrera, 2005), los procesos de surgencia causados por la fuerte divergencia en los campos de los vientos (Bula-Meyer, 1990; Cabrera y Donoso, 1993; Andrade *et al.*, 2003), los aportes de aguas continentales por el río Magdalena y la Ciénaga Grande de Santa Marta y los cambios en el acoplamiento océano-atmósfera por eventos de escala regional (e.g. Niño/Niña) (Franco-Herrera, 2001), hacen que la dinámica fitoplanctónica sea dependiente de un complejo sistema abiótico. Debido a lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar algunos atributos estructurales como composición, abundancia y biomasa de la comunidad fitoplanctónica, teniendo en cuenta la mayoría de variables (velocidad del viento, profundidad de Ekman, temperatura superficial del mar, salinidad, oxígeno disuelto, pH y concentración de nutrientes orgánicos) que reflejan la dinámica oceanográfica causada y que permiten definir períodos de surgencia (S) y de no surgencia (NS), con el fin de dar pautas claras del funcionamiento de esta comunidad autotrófica en un área costera que soporta una de las principales pesquerías artesanales del Caribe colombiano, con especial énfasis en pequeños pelágicos de hábitos herbívoros y omnívoros (Paramo y Roa, 2003; Paramo y Viaña, 2003; Paramo *et al.*, 2003).

ÁREA DE ESTUDIO

La zona costera del departamento del Magdalena comprende la región de Santa Marta y el Parque Nacional Natural Tayrona (PNNT), ubicados entre las coordenadas 11°15'- 11°22' N y 73°57'- 74°12' W (Díaz *et al.*, 2000). El régimen climático del sector se encuentra principalmente bajo la influencia de los desplazamientos norte-sur de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT; INVEMAR, 2004). Se caracteriza en general como tropical semiárido, con dos períodos climáticos principales, la época seca (verano, diciembre-abril) y la época lluviosa (invierno, septiembre-noviembre), con una época de transición compuesta por un periodo lluvioso menor (*i.e.* mayo-junio) y seco menor (*i.e.* julio-agosto), este último conocido también como “veranillo de San Juan” (Hernández-Camacho, 1998; INVEMAR, 2004; Franco-Herrera, 2005). La época seca comprendida entre los meses de diciembre a abril, se caracteriza por vientos fuertes del norte y el noreste (alisios del NE), con velocidades promedio de 6.94 m/s. Las lluvias son

débiles y escasas, no sobrepasan los 50 mm/mes, siendo enero y febrero los meses de más bajos índices de precipitación y caudales hídricos mínimos del orden de 100 m³/s (INVEMAR, 2004). Para esta época del año, tras la ocurrencia de una fuerte divergencia en el campo de los vientos, se ha observado el desarrollo del proceso de surgencia, caracterizado por la presencia de aguas con temperaturas relativamente bajas (21-24 °C) y altas salinidades (36.5-37.2) (Müller, 1979; Ramírez, 1983, 1987; Bula-Meyer, 1990) permitiendo evidenciar la influencia de la Masa de Agua Subtropical Sumergida (MASS) que se localiza entre 100 y 200 m de profundidad en el mar Caribe (Bula-Meyer, 1985, 1990; Hernández-Camacho, 1998, Andrade *et al.*, 2003). Ésta es seguida por el período lluvioso menor y seco menor, respectivamente. Para esta época los vientos no superan los 5.14 m/s. Mientras que las direcciones presentan un predominio de las componentes norte y este. La época de invierno, comprendida entre los meses agosto a noviembre, se caracteriza por lluvias abundantes, con máximos en octubre (270 mm/mes). En esta época, se presentan los caudales máximos de agua dulce; el intercambio de calor en la interfase del mar y el aire se disminuye ya que la velocidad del viento se reduce también (INVEMAR, 2004). La temperatura del agua sube hasta los 29-30 °C y la salinidad puede disminuir de 1 a 3 unidades del valor que alcanza durante los períodos de surgencia (Bula-Meyer, 1990; Donoso, 1990). En síntesis, las condiciones generales para el período anual de temperatura ambiente, temperatura del agua y salinidad, se encuentran comprendidas entre los siguientes rangos: 20-37 °C, 21-29 °C y 24.8-37, respectivamente (Acosta, 1989; Martínez y Acosta, 2005).

MATERIALES Y MÉTODOS

Se escogieron tres estaciones de muestreo, ubicadas en la bahía de Taganga (11° 15' 54" N - 74° 12' 40" W) y ensenadas de Gaira (11° 12' 44" N - 74° 14' 44" W) y Granate (11° 16' 57" N - 74° 12' 40" W; Figura 1a). Dichas estaciones fueron muestreadas en seis ocasiones comprendidas entre febrero y junio de 2008, cuatro muestreos (1, 2, 3 y 4) durante la época seca (*i.e.* febrero-abril) y dos (5 y 6) durante el período lluvioso menor (*i.e.* junio-julio), cuando se presentan las mayores (*i.e.* 3.5 m/s) y menores (*i.e.* 2.6 m/s) velocidades del viento, respectivamente, en el primer semestre del año (IDEAM, 2008). Para determinar la presencia y tipo de surgencia costera, se obtuvo información meteorológica de velocidad y dirección de viento diaria de una estación meteorológica Davis-Wizard III, ubicada en la Universidad Jorge Tadeo Lozano de Bogotá, sede Santa Marta, a 10 msnm, en la zona costera de la ensenada de Gaira. Con ésta, se calculó la profundidad de afloramiento o profundidad de Ekman (δ_E) (Pond y Pickard, 1983). Los datos fueron obtenidos de García-Hoyos (2008).

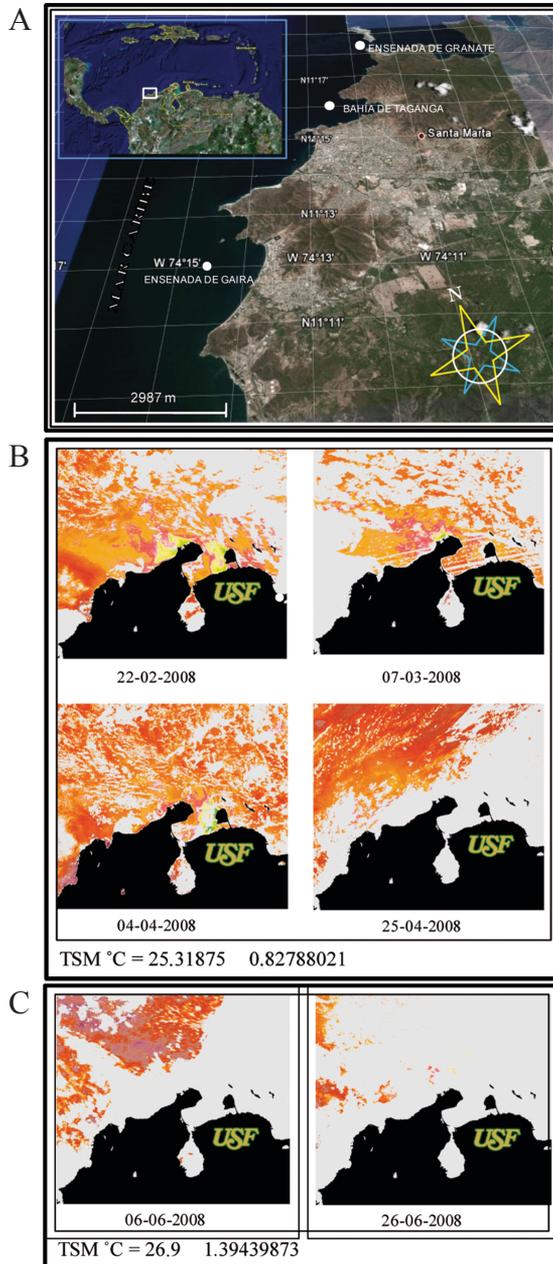


Figura 1. Zona costera del departamento del Magdalena, indicando la localización de las tres estaciones muestreadas (puntos blancos): Ensenada Gaira, Bahía Taganga y Ensenada Granate. Escala 10.25 km (a) (modificado de Google Earth, 2008). Imágenes satelitales de temperatura superficial del mar para los muestreos 1-4 (b), Imágenes satelitales de temperatura superficial del mar para los muestreos 5-6 (c) (USF, 2008).

Para el análisis del componente biótico (fitoplancton, pigmentos fotosintéticos y accesorios: chl-*a*, chl-*b*, chl-*c*, carotenoides y feopigmento *a*) y abiótico (temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto y nutrientes inorgánicos: nitratos, nitritos, amonio y ortofosfatos), se tomaron muestras a 0, 5, 30 y 60 m de profundidad haciendo uso de una botella de Van Dorn de 6 L de capacidad nominal. Análogamente, se obtuvieron muestras mediante arrastres verticales desde 60 m de profundidad hasta la superficie, haciendo uso de una red cónica simple de 30 cm de diámetro de boca y poro de malla de 63 μm . Las muestras de pigmentos fotosintéticos y nutrientes inorgánicos fueron depositadas en frascos oscuros de 2 L y se refrigeraron en neveras de fibra de vidrio con hielo. Las muestras para composición y abundancia fueron fijadas con solución de lugol-formalina al 4 %, neutralizada con bórax y glicerina. La temperatura, salinidad, pH y oxígeno disuelto del agua se determinaron *in situ* mediante el uso de sondas multiparámetros WTW-330 para cada profundidad.

La concentración de los pigmentos fotosintéticos, fue obtenida filtrando 2 L de agua de mar de cada profundidad mediante un filtro sintético Whatman GF/C. Los pigmentos fueron extraídos mediante solución de acetona al 90 % y su concentración se determinó a través del método espectrofotométrico de acuerdo con lo descrito en INVEMAR (2003). Se estimaron los Índices de Actividad Fotosintética (IAF), relacionando la concentración de clorofila *a*: feopigmentos *a* (IAF₁) y clorofila *a*: carotenoides (IAF₂), como medida del estado fisiológico de la comunidad autotrófica (Margalef, 1991). La concentración de nutrientes inorgánicos (nitratos, nitritos, amonio y ortofosfatos), fue medida usando las marchas analíticas propuestas por INVEMAR (2003).

Para el recuento de células, las muestras obtenidas por botella de Van Dorn fueron filtradas a través de un filtro de 25 μm de poro. La identificación se llevó a cabo hasta el nivel taxa-género, mediante el uso de un microscopio óptico de luz Nikon E200 con objetivos de 10x y 40x, usando la técnica de portaobjetos-cubreobjetos. El número mínimo de alícuotas a observar se estimó mediante curvas de diversidad acumulada (Ramírez, 2005). Las muestras obtenidas en red fueron analizadas con placas *SR Cell Counter S 50*. Para la identificación de los organismos se utilizaron las guías de Cupp (1943), Vidal y Carbonell (1977), Parra *et al.* (1982), Balech (1988), Vidal (1995), Tigreros (2001) y Botes (2003).

La información de composición fue recopilada en una matriz primaria de acuerdo con la clasificación taxonómica descrita por Chretiennot-Dinet *et al.* (1993), que permitió valorar la composición por géneros y grupos mayores (*e.g.* diatomeas, dinoflagelados, cianobacterias), en las diferentes profundidades en cada estación. Consecutivamente, se estimó la densidad celular por géneros y total por profundidad y la densidad integrada en la columna de agua (0-60 m). Para evaluar la similitud entre muestras se realizó inicialmente un análisis de clasificación cualitativo entre muestras a partir de una matriz presencia-ausencia. Posteriormente, se adelantó un análisis de

similitud cuantitativo de Bray-Curtis a través del programa PRIMER 5v 2.2® (Clarke y Ainsworth, 1993). Los valores de similitud obtenidos fueron sometidos a un análisis de ordenación multidimensional no-métrica (NMDS) y a un análisis de clasificación jerárquica en modo Q (entre estaciones) y su dendrograma fue construido utilizando el método UPGMA (Ochoa y Tarazona, 2003). Conjuntamente, se realizó un análisis de similaridad (ANOSIM) para definir si existen diferencias significativas en términos de abundancia de géneros, entre los muestreos considerados de surgencia y no surgencia y los distintos estratos de profundidad considerados en el diseño muestral (Clarke y Warwick, 1994).

Para establecer la estructura de la comunidad fitoplanctónica, se calcularon los índices ecológicos, riqueza de Margalef, uniformidad de Pielou, diversidad de Shannon-Weaver, predominio de Simpson y números de Hill N0, N1 y N2 de la comunidad, a través del programa PRIMER 5v 2.2® (Clarke y Ainsworth, 1993). Para determinar si existían diferencias en los índices calculados entre épocas de surgencia y no surgencia, estaciones y/o profundidades, se empleó inicialmente el test de Wilcoxon, seguido por el test de Friedman, sin embargo, debido a su baja potencia, se hizo un análisis exploratorio mediante el uso de la prueba *t* pareada que corrobora la veracidad de las pruebas en mención, a través del programa STATISTICA Versión 8.0® (Zar, 1996).

Para evidenciar el efecto de los eventos de turbulencia o eventos Lasker sobre cambios temporales a pequeña escala en la comunidad fitoplanctónica, se analizó su variabilidad durante el día de muestreo. Se determinó la turbulencia mediante el índice de Pingree (Lalli y Parsons, 1993), la concentración de clorofila *a* integrada en la columna de agua (0-60 m), y se establecieron correlaciones de Spearman (Clarke y Ainsworth, 1993; Clarke y Warwick, 2001) entre las variables turbulencia - pigmentos fotosintéticos (chl-*a*) para los momentos de muestreo. Finalmente, para establecer las relaciones existentes entre las variables océano-atmosféricas y la comunidad fitoplanctónica, todas las variables fueron estandarizadas para su respectivo rango de máximos y mínimos, siguiendo la metodología descrita en Guisande (2006) y se llevaron a cabo correlaciones Pearson a través del programa STATGRAPHICS versión 5.1® (Zar, 1996).

RESULTADOS

Durante los muestreos realizados, tanto la velocidad promedio (> 4.0 m/s) y la dirección del viento (paralela y perpendicular a la costa) indicaron condiciones favorables para la ocurrencia de eventos de surgencia por transporte de Ekman y acción de vientos continentales para los muestreos 1-4 (época seca), a diferencia de los muestreos 5 y 6 (época lluviosa menor), que estuvieron regidos por velocidades promedio más bajas (Tabla 1). En respuesta a la intensidad del viento, se generaron profundidades de Ekman, que superaron la termoclina permanente (45 m) evidenciando el ascenso de aguas de afloramiento, en los muestreos 1-4. Durante el período febrero-abril de 2008, las aguas superficiales de las ensenadas de Gaira y

Granate y de la bahía de Taganga, presentaron bajas temperaturas, altas salinidades y valores de subsaturación de oxígeno, condiciones físico-químicas típicas de aguas de afloramiento (Figuras 1b, 2a,b,c; García-Hoyos, 2008). Las concentraciones de amonio y nitritos fluctuaron entre 0.04 y 5.46 $\mu\text{g-at-N-NH}_4^+/\text{L}$ y 3.24 y 3.62 $\mu\text{g-at-N-NO}_2^-/\text{L}$, respectivamente. Los nitratos y ortofosfatos se mantuvieron en ámbitos considerablemente altos (*i.e.* entre 1.92 y 31.54 $\mu\text{g-at-N-NO}_3^-/\text{L}$, 2.59 y 4.68 $\mu\text{g-at-P-HPO}_4^-/\text{L}$). Es importante destacar que la variabilidad físicoquímica de la columna de agua no presentó diferencias significativas entre períodos de surgencia y no surgencia (Wilcoxon, $p > 0.05$). No obstante, se hizo evidente una segregación de los muestreos en respuesta a las variables evaluadas separándose aquellos influenciados por eventos de surgencia, caracterizados por mayor densidad celular, biomasa y diversidad fitoplanctónica (muestreo 1 a 4) de muestreos sin acción de aguas de afloramiento (muestreos 5 y 6; Figuras 1c, 2).

La densidad celular fluctuó en presencia de eventos S entre 5926.11 cel/L y

Tabla 1. Condiciones meteorológicas y oceanográficas promedio, medidas durante cinco días previos a los muestreos realizados entre febrero y junio de 2008. Vel= Velocidad, Direc = dirección del viento, t = stress del viento y δ_E = profundidad de Ekman. * Muestreos durante los cuales se desarrollaron eventos de surgencia (modificado de Garcia-Hoyos, 2008).

Muestreo (fecha)	Vel (m/s)	Direc (°)	t (Pa)	δ_E (m)
M-I * (22/02/2008)	7.18 \pm 5.10	229 \pm 15.24	0.13 \pm 0.14	70.75 \pm 50.23
M-II * (07/03/2008)	6.38 \pm 5.87	180 \pm 53.06	0.13 \pm 0.19	63.55 \pm 59.21
M-III * (04/04/2008)	7.39 \pm 5.06	204 \pm 56.81	0.14 \pm 0.15	72.69 \pm 49.79
M-IV * (25/04/2008)	5.47 \pm 5.17	216 \pm 22.94	0.10 \pm 0.15	62.71 \pm 55.43
M-V (06/06/2008)	3.22 \pm 3.06	216 \pm 20.61	0.03 \pm 0.05	38.91 \pm 40.66
M-VI (26/06/2008)	4.64 \pm 4.50	188 \pm 46.81	0.07 \pm 0.11	50.09 \pm 49.36

46553.60 cel/L y entre 2266.13 y 36137.20 cel/L en NS (Figura 3a). La misma tendencia se encontró en la densidad integrada para la columna de agua promedio que registra un valor máximo de $53.7 \times 10^7 \pm 18.6 \times 10^7$ cel/m², durante los muestreos de afloramiento (S), mientras que en ausencia de ellos (NS), la densidad alcanzó solamente hasta las $49.8 \times 10^6 \pm 15.6 \times 10^6$ cel/m² (Tabla 2). En relación con la distribución vertical, los mayores valores de densidad celular se encontraron en promedio en las capas superiores de la columna de agua, con valores entre 9277.23 ± 8411.08 cel/L a 0 m y 5366.99 ± 4988.06 cel/L a 5 m de profundidad, y descendiendo en las capas inferiores a 4034.31 ± 4518.95 cel/L a 30 m y 3354.58 ± 4107.92 cel/L a 60 m de profundidad (Figura 3b).

En términos de composición, la comunidad microfitoroplanctónica en las

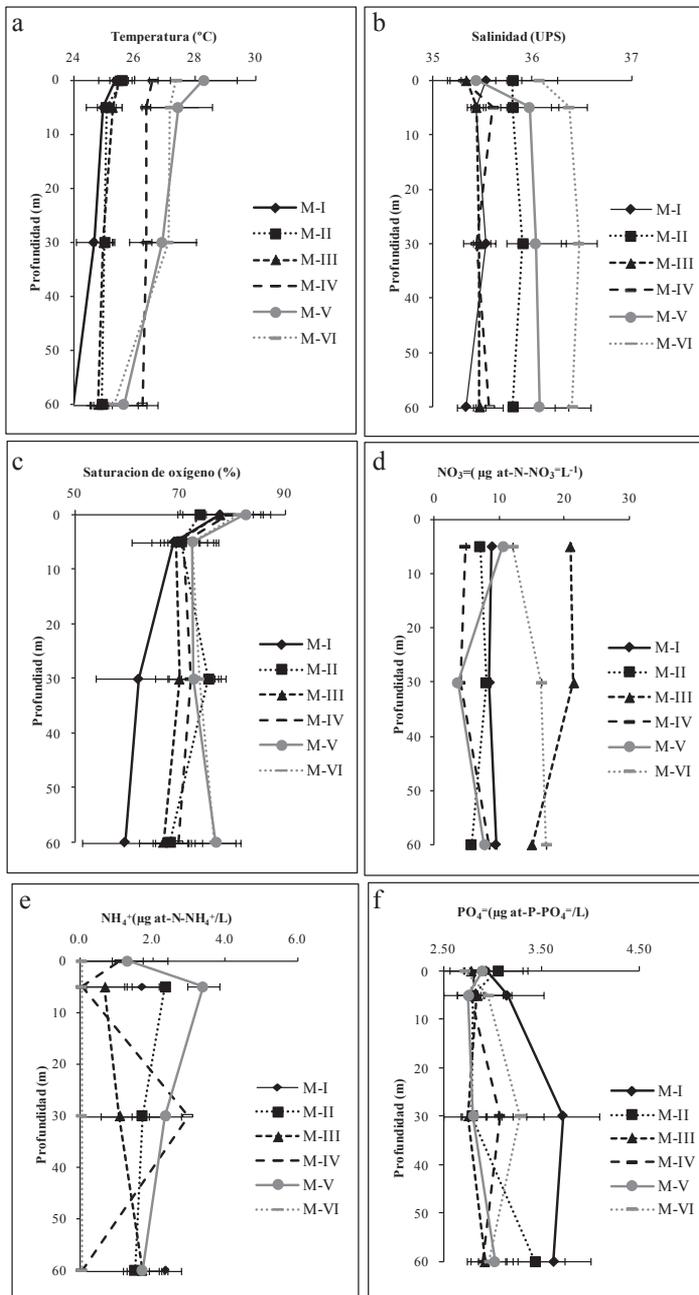


Figura 2. Perfiles de (a) temperatura, (b) salinidad, (c) porcentaje de saturación de oxígeno, (d) concentración de NO_3^- , (e) concentración de NH_4^+ y (f) concentración de HPO_4^- en la columna de agua, para la totalidad de los muestreos a 0, 5, 30 y 60 m de profundidad. M-I: muestreo 1, M-II: muestreo 2, M-III: muestreo 3, M-IV: muestreo 4, M-V: muestreo 5, M-VI: muestreo 6.

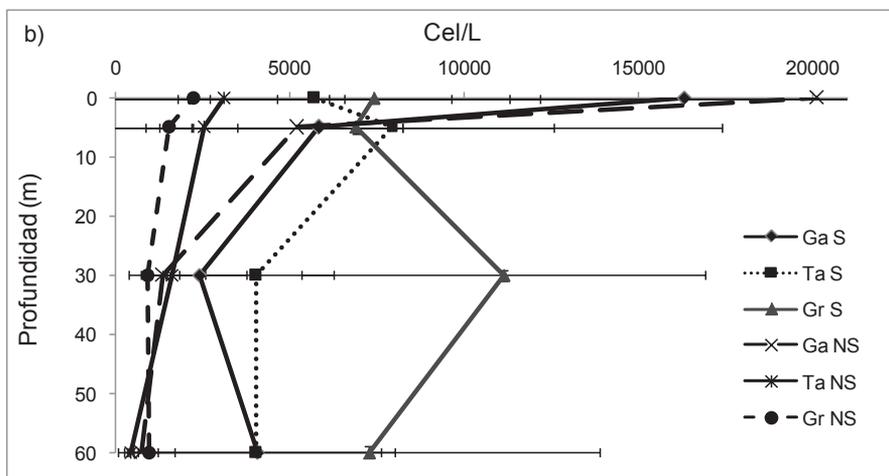
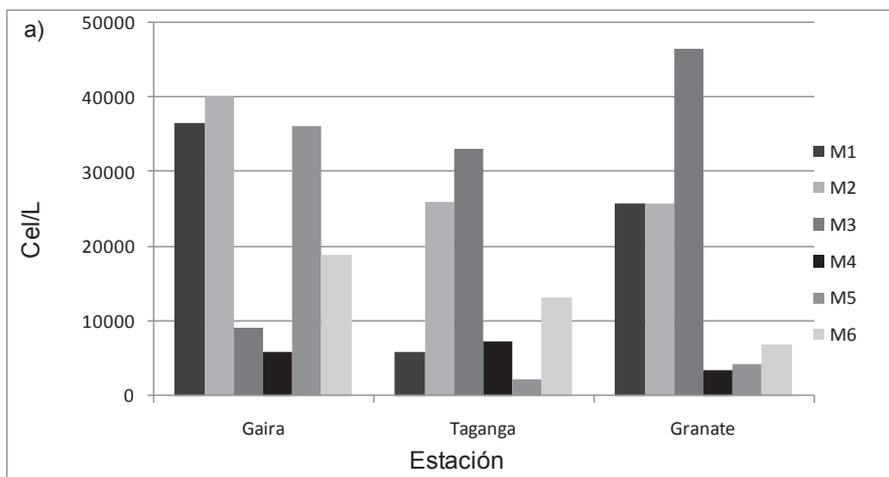


Figura 3. Densidad celular fitoplanctónica (cel/L) registrada para las estaciones Gaira (Ga), Taganga (Ta) y Granate (Gr) conforme a seis muestreos bajo condiciones de surgencia (S) y no surgencia (NS). (a) Densidades totales para la columna de agua de 0 a 60 m de profundidad. (b) Densidades totales promedio propias de las profundidades 0, 5, 30 y 60 m del agua.

Tabla 2. Densidad celular fitoplanctónica integrada promedio para la columna de agua (cel/m²) en época de surgencia y no surgencia registrada para las tres estaciones en estudio.

Estación	Densidad integrada (cel/m ²)	
	Surgencia	No surgencia
Ensenada de Gaira	26.0 x 10 ⁷ ± 13.6 x 10 ⁷	17.7 x 10 ⁷ ± 72.8 x 10 ⁶
Bahía de Taganga	30.5 x 10 ⁷ ± 17.7 x 10 ⁷	97.0 x 10 ⁶ ± 83.3 x 10 ⁶
Ensenada de Granate	53.7 x 10 ⁷ ± 18.6 x 10 ⁷	49.8 x 10 ⁶ ± 15.6 x 10 ⁶

épocas de S (NS) se caracterizó por el dominio de las diatomeas que presentaron 35 (32) géneros, seguidas por las cianobacterias 6 (5), dinoflagelados 6 (8), flagelados 2 (2) y clorófitas 2 (0) (Tabla 3). De las diatomeas, los géneros de mayor importancia fueron *Chaetoceros* y *Skeletonema*, alcanzando una abundancia relativa de 47.02 % (19.57 %) y 8.13 % (60.93%) respectivamente, y densidades promedio superiores a 2000 cel/L. Los géneros *Rhizosolenia*, *Leptocylindrus*, *Thalassionema*, *Pseudo-nitzschia* y *Anabaena* mostraron densidades considerablemente bajas con respecto a *Chaetoceros* y *Skeletonema*, pero fueron característicos y frecuentes en la totalidad del período de muestreo, con densidades promedio superiores a 55 cel/L, representando porcentajes superiores al 1 % sobre el total (Tabla 3). Los géneros *Asterionellopsis*, *Guinardia*, *Bacteriastrium* y *Helicotheca* igualmente alcanzaron porcentajes superiores al 1 % exclusivamente durante el período febrero-abril, no obstante, fueron frecuentes en el período junio-julio, aunque con baja importancia relativa (< 1%; Tabla 3).

Los valores de diversidad para las dos condiciones oceanográficas (S:

Tabla 3. Abundancia relativa (%) y densidad total promedio fitoplanctónica (cel/L) por géneros, para la columna de agua (0-60 m) en las épocas de surgencia y no surgencia. DC: Diatomeas céntricas, DP: Diatomeas pennadas, DF: Dinoflagelados, FG: Flagelados, CY: Cianobacterias, CLF: Clorófitas, D: desconocido. ■: Indica géneros registrados con red, pero no cuantificados mediante las colectas con botella oceanográfica.

Grupo	Géneros	%	Surgencia			No surgencia			
			Densidad (cel/L)	%	Densidad (cel/L)	%	Densidad (cel/L)		
CLF	<i>Pediastrum</i>	0.003	0.175	±	1.212	0.000	0.000	±	0.000
CY	<i>Anabaena</i>	3.642	201.581	±	474.185	3.121	106.028	±	164.412
CY	<i>Lyngbia</i>	0.046	2.529	±	5.871	0.067	2.283	±	4.153
CY	<i>Merismopedia</i>	0.550	30.461	±	79.603	0.185	6.281	±	13.474
CY	<i>Nostoc</i>	0.219	12.143	±	34.526	0.390	13.250	±	35.863
CY	<i>Oscillatoria</i>	0.084	4.668	±	23.225	0.021	0.700	±	3.429
CY	<i>Spirullina</i>	0.031	1.726	±	6.116	0.000	0.000	±	0.000
DC	<i>Bacteriastrium</i>	1.963	108.639	±	178.470	0.766	26.017	±	89.903
DC	<i>Biddulphia</i>	0.016	0.900	±	3.682	0.021	0.700	±	2.383
DC	<i>Cerataulina</i>	0.000	0.000	±	0.000	0.010	0.350	±	1.715
DC	<i>Chaetoceros</i>	47.025	2603.078	±	2967.395	19.570	664.833	±	2040.617
DC	<i>Corethron</i>	0.310	17.185	±	30.120	0.000	0.000	±	0.000
DC	<i>Coscinodiscus</i>	0.657	36.349	±	41.512	0.068	2.300	±	5.515
DC	<i>Dactyliosolen</i>	0.183	10.133	±	28.622	0.000	0.000	±	0.000
DC	<i>Eucampia</i>	0.846	46.825	±	68.613	0.112	3.800	±	9.249
DC	<i>Guinardia</i>	7.203	398.731	±	524.034	0.825	28.031	±	67.761
DC	<i>Helicotheca</i>	1.283	71.027	±	69.321	0.182	6.192	±	9.141

Continuación Tabla 3

Grupo	Géneros	%	Surgencia			No surgencia		
			Densidad (cel/L)	%	Densidad (cel/L)			
DC	<i>Hemiaulus</i>	0.621	34.370 ± 40.920	0.121	4.117 ± 10.153			
DC	<i>Leptocylindricus</i>	1.915	105.996 ± 174.562	0.738	25.064 ± 28.849			
DC	<i>Melosira</i>	0.078	4.319 ± 13.572	0.096	3.267 ± 7.564			
DC	<i>Odontella</i>	0.067	3.698 ± 7.461	0.000	0.000 ± 0.000			
DC	<i>Rhizosolenia</i>	7.830	433.448 ± 499.125	2.679	91.000 ± 140.070			
DC	<i>Skeletonema</i>	8.132	450.159 ± 787.986	60.930	2069.883 ± 3407.451			
DC	<i>Stephanopyxis</i>	0.042	2.351 ± 6.363	0.027	0.933 ± 3.268			
DC	<i>Thalassiosira</i>	0.058	3.206 ± 9.049	0.041	1.400 ± 6.859			
D	Morfotipo 1	0.000	0.000 ± 0.000	0.024	0.800 ± 3.919			
DF	<i>Ceratium</i>	0.189	10.435 ± 17.049	0.172	5.850 ± 11.800			
DF	<i>Ornithocercus</i>	0.007	0.410 ± 1.988	0.015	0.517 ± 2.531			
DF	<i>Prorocentrum</i>	0.000	0.000 ± 0.000	0.049	1.650 ± 8.083			
DF	<i>Proto-peridinium</i>	0.115	6.348 ± 10.502	0.249	8.469 ± 14.213			
DF	<i>Ceratocorys</i>	0.058	3.202 ± 20.802	0.000	0.000 ± 0.000			
DP	<i>Actinocyclus</i>	0.208	11.526 ± 20.350	0.122	4.131 ± 6.650			
DP	<i>Asterionellopsis</i>	2.622	145.120 ± 143.895	0.385	13.075 ± 20.050			
DP	<i>Bleakellela</i>	0.011	0.585 ± 2.297	0.011	0.383 ± 1.878			
DP	<i>Cylindrotheca</i>	0.540	29.875 ± 43.296	1.548	52.600 ± 50.227			
DP	<i>Licmophora</i>	0.025	1.375 ± 3.949	0.000	0.000 ± 0.000			
DP	<i>Navicula</i>	0.100	5.553 ± 11.614	0.174	5.911 ± 7.421			
DP	<i>Neodelphineis</i>	0.117	6.468 ± 14.031	0.000	0.000 ± 0.000			
DP	<i>Nitzschia</i>	0.995	55.085 ± 62.356	0.719	24.428 ± 39.275			
DP	<i>Pleurosigma</i>	0.335	18.550 ± 26.217	0.218	7.417 ± 9.049			
DP	<i>Pseudo-nitzschia</i>	7.892	436.868 ± 785.332	4.250	144.386 ± 256.474			
DP	<i>Striatella</i>	0.048	2.640 ± 7.748	0.011	0.383 ± 1.878			
DP	<i>Surirella</i>	0.022	1.213 ± 7.119	0.000	0.000 ± 0.000			
DP	<i>Synedra</i>	0.052	2.894 ± 7.654	0.474	16.119 ± 24.697			
DP	<i>Thalassionema</i>	3.073	170.104 ± 154.147	1.401	47.589 ± 51.943			
DP	<i>Thalassiotrix</i>	0.642	35.563 ± 57.213	0.159	5.392 ± 9.647			
FG	<i>Dictyocha</i>	0.145	8.048 ± 12.953	0.048	1.617 ± 4.994			
CLF	<i>Cosmarium</i>		■					
DC	<i>Planktoniella</i>				■			
DC	<i>Diploneis</i>		■					
DC	<i>Dytilum</i>		■					
DC	Morfotipo 2		■		■			
DP	<i>Pinnularia</i>				■			
DF	<i>Pyrocystis</i>				■			
DF	<i>Dinophysis</i>		■		■			
DF	<i>Gonyaulax</i>		■		■			
DF	<i>Noctiluca</i>		■					
DF	<i>Podolampas</i>				■			

2.25±0.16 y NS: 1.88±0.19) fueron similares (Wilcoxon, $p > 0.05$) y bajos, sin superar los 2.5 bits en términos de diversidad, generando así niveles de equiparabilidad entre 34 y 76 % y valores de predominio menores a 0.55. Esto llevó a que la estructura de la comunidad estuviera principalmente sujeta a la riqueza de géneros y se viera influenciada por el gradiente de profundidad, lo que llevó a que se encontraran diferencias significativas en términos de diversidad con respecto a la profundidad (Friedman, $p < 0.05$).

Consecuentemente a lo anterior, el análisis de clasificación cualitativo de presencia/ausencia reveló dos grupos correspondientes de manera general a los dos escenarios (S y NS), incluyendo las tres estaciones en cada uno de ellos (Figura 4a). El análisis de clasificación cuantitativo Bray-Curtis (Figura 4b) sigue un patrón similar y muestra la formación de cinco grupos que responden principalmente a la variación temporal modulada por eventos de surgencia (S) y no surgencia (NS). El grupo A junto con el E reunieron en su mayoría las muestras propias de los muestreos 5 y 6 en NS, con densidades celulares promedio bajas y medias en las capas inferiores y superiores, respectivamente. En contraste, los grupos B y C se conforman en su totalidad por las muestras correspondientes a los muestreos 1, 2 y 3 en S, que se segregan en respuesta a densidades altas y medias/bajas, sin una discriminación clara de profundidades y/o estaciones. Finalmente el grupo D asocia las muestras correspondientes al muestreo 4 en S con densidades preponderantemente bajas que se infieren como consecuencia de las condiciones atípicas que se presentaron en dicho muestreo, causado por el derrame del aceite vegetal de la empresa Terlica S.A. a la bahía de Taganga y zonas adyacentes. El análisis de similaridad ANOSIM ($R = 0.43$ $p < 0.001$) confirma el patrón de distribución y el factor determinante (época).

Las concentraciones de clorofila *a* (chl-*a*) alcanzaron mayores valores durante el período febrero–abril de 2008 en presencia de surgencia fluctuando entre 0.007 y 1.610 mg/m³, con una media de 0.72±0.47 mg/m³ y disminuyeron durante el intervalo junio–julio de 2008 en ausencia de surgencia, oscilando entre 0.001 y 0.679 mg/m³, con un promedio de 0.150±0.150 mg/m³. Consecuentemente, los pigmentos accesorios mantuvieron el mismo comportamiento, así la chl-*b*, chl-*c* y carotenoides alcanzaron promedios de 0.31±0.41 mg/m³, 0.86±1.12 mg/m³ y 1.29±0.54 mg/m³ en S y un claro declive en NS con 0.13±0.17 mg/m³, 0.51±0.41 mg/m³ y 0.82±0.45 mg/m³, respectivamente. Las concentraciones de feopigmento *a* presentaron una relación inversa con la concentración de chl-*a*, con promedios bajos en S (0.21±0.27 mg/m³) y altos en NS (5.62±6.08 mg/m³). Respecto a la distribución vertical de la concentración de pigmentos fotosintéticos (chl-*a*, chl-*b*, chl-*c*, carotenoides y feopigmento *a*), aun cuando se observó una ligera agrupación de los valores altos en las capas superficiales del agua, no se evidenció un patrón de segregación vertical marcado, pese a que se encontró que existen diferencias significativas en el patrón de distribución de los pigmentos con respecto a la profundidad (Friedman, $p < 0.05$; Figuras 5a, b).

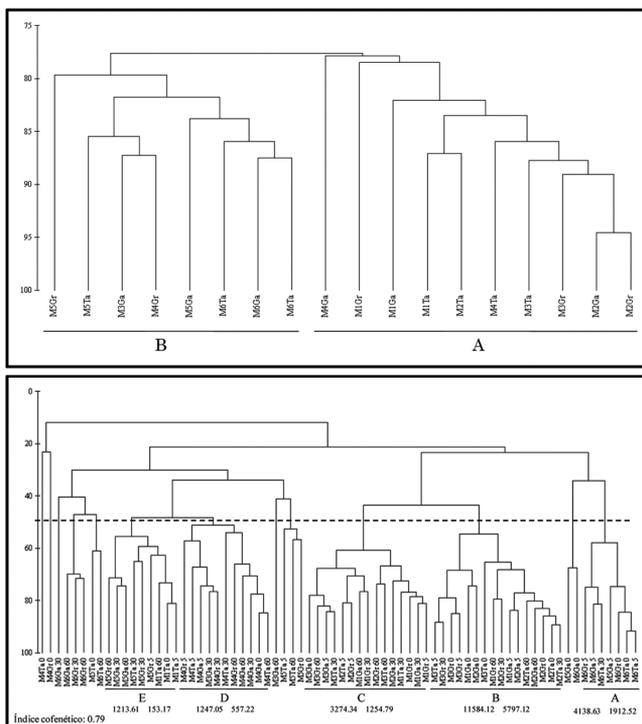


Figura 4. Análisis de clasificación cualitativo de presencia/ausencia (a) y cuantitativo de Bray-Curtis (b) para la comunidad fitoplanctónica de la zona costera del departamento del Magdalena, bajo condiciones de surgencia y no surgencia usando como técnica de ligamiento el método UPGMA. M1, 2, ..., 6: muestreo uno, dos, ..., seis. Gr: Estación Granate. Ta: Estación Taganga. Ga: Estación Gaira. A, B, C...: indican agrupaciones formadas, como las densidades celulares promedio de cada grupo en cel/L.

El Índice de Actividad Fotosintética (IAF_1 , feopigmentos *a*) con un promedio de 6.34 ± 5.34 en S, indicó una alta calidad de los pigmentos y/o poco pastoreo por parte del zooplancton, representando entonces un estado fisiológico óptimo. En contraste, durante el período en ausencia de surgencia (NS) se encontró un valor promedio (0.52 ± 0.84) considerablemente menor, lo que indica un amplio declive en el estado fisiológico de la comunidad fitoplanctónica propio de esta época. Por otra parte, el IAF_2 (pigmentos carotenoides, ámbito 0.03-1.61) presentó valores promedios más altos durante el período inicial (S) con 0.55 ± 0.30 y más bajos (0.21 ± 0.23) para el final (NS).

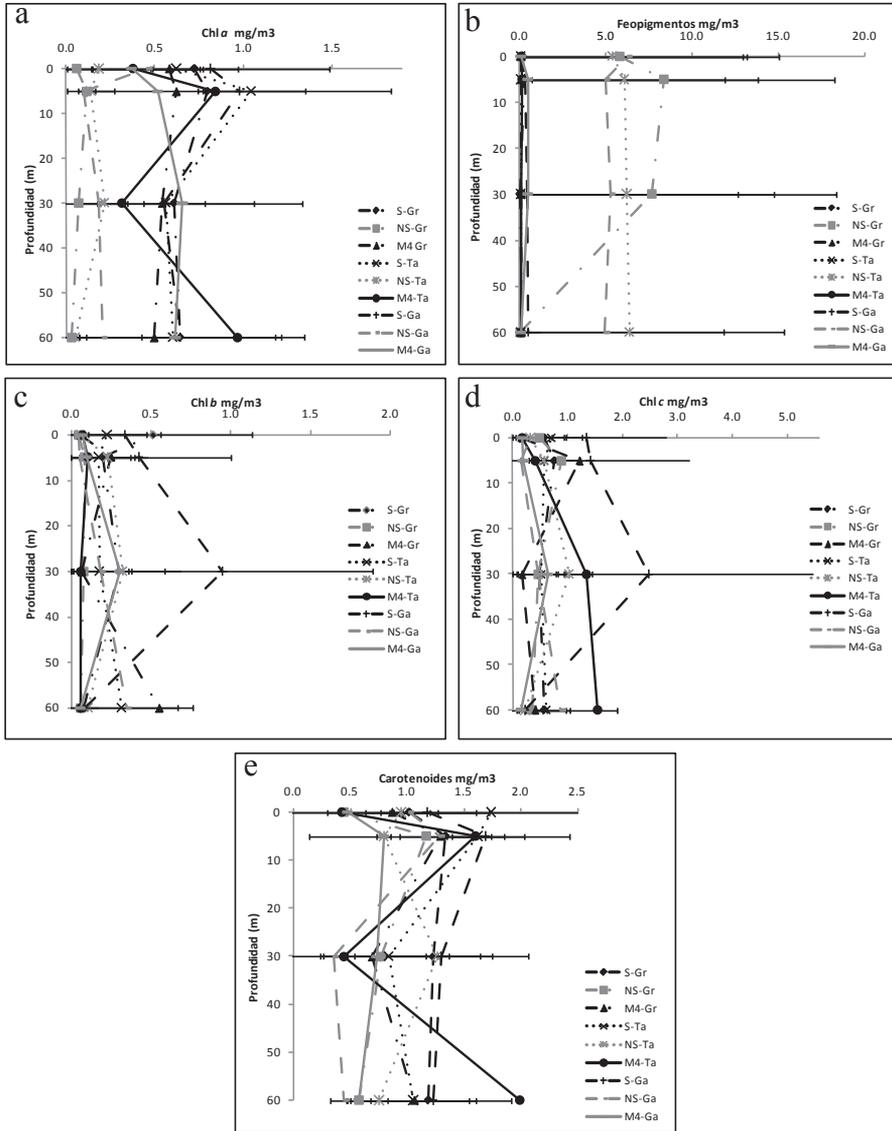


Figura 5. Perfiles de clorofila *a* y pigmentos accesorios para los seis muestreos correspondientes a períodos de surgencia y no surgencia en las estaciones Gaira (Ga), Taganga (Ta) y Granate (Gr) a 0, 5, 30 y 60 m de profundidad. (a) Clorofila *a*. (b) Feopigmento *a*. (c) Clorofila *b*. (d) Clorofila *c*. (e) Carotenoides. M4: Muestreo 4. S: surgencia. NS: no surgencia.

Los valores de turbulencia en las ensenadas de Gaira y Granate y bahía de Taganga fluctuaron entre 3.026 y 5.600 indicando aguas turbulentas para las tres estaciones (Lalli y Parsons, 1993). La correlación Spearman indicó una asociación positiva entre las variables turbulencia y concentración de chl-*a* (Spearman, $r = 0.6099$, $p < 0.005$), reflejándose mayor biomasa fitoplanctónica a medida que se homogeniza la capa de mezcla (Figura 6).

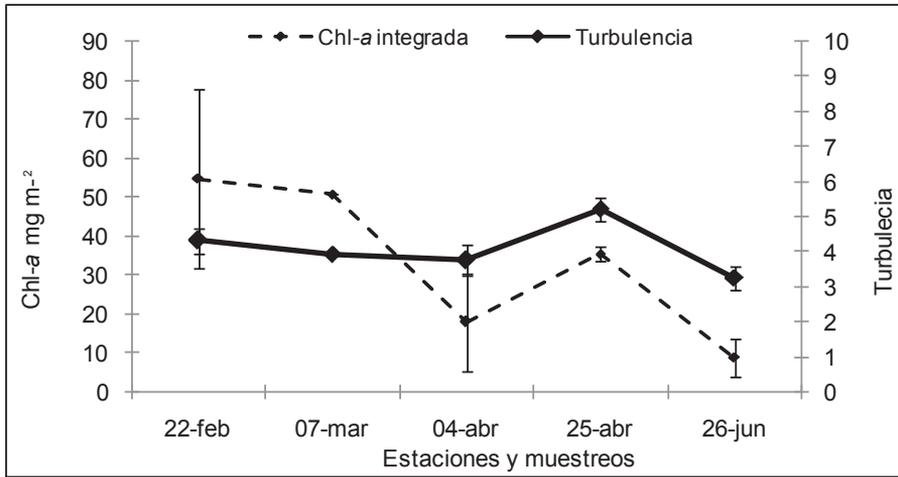


Figura 6. Variación de la concentración de clorofila *a* integrada en la columna de agua (0-60 m) y su relación con la turbulencia del agua en el período febrero–junio de 2008 para las ensenadas de Gaira (Ga) y Granate (Gr) y la bahía de Taganga (Ta).

Las correlaciones de Pearson indicaron que la densidad celular fitoplanctónica se relacionó positivamente con la concentración de NO_3^- y negativamente con la salinidad y densidad del agua. De la misma manera, se observó una relación negativa entre la riqueza de géneros y la diversidad de Shannon Weaver con la temperatura del agua, salinidad, pH, oxígeno disuelto y saturación de oxígeno. La equiparabilidad mostró una relación positiva con la concentración de NH_4^+ y negativa con la saturación de oxígeno. La concentración de chl-*a* se relacionó negativamente con la temperatura del agua, salinidad y NO_3^- . Inversamente, la concentración de feopigmentos *a* mostró una relación positiva con dichas variables. Finalmente, los resultados de las correlaciones señalan que, al parecer las concentraciones de chl-*b* y carotenoides no se vieron afectadas de manera importante por las variables evaluadas en este estudio; en adición, permiten descartar que las concentraciones NO_2^- y HPO_4^- tengan un efecto importante sobre las variables biológicas en estudio (Tabla 4).

Tabla 4. Correlaciones de Pearson entre los parámetros fisicoquímicos de la columna de agua (0-60 m) y algunos atributos estructurales de la comunidad fitoplanctónica. n: Número de datos pareados. R: Coeficiente de correlación. P: valor p. Las casillas resaltadas denotan correlación. H' (ln): Diversidad de Shannon-Weaver. d: Riqueza de Margalef. S-N0: Número de géneros. J': Equiparabilidad. Chl-a: Clorofila a. Feo-a: Feopigmentos a. Chl-b: Clorofila b. Chl-c: Clorofila c. Cart: Carotenoides.

Parámetro (unidades)	n	Densidad celular	H' (ln)	d	S	J'	Chl-a	Feo-a	Chl-b	Chl-c	Cart
Temperatura	72	R	0.1085	-0.3647	-0.3691	-0.1801	-0.3096	0.3359	-0.1087	-0.0467	-0.1384
		P	0.3645	0.0016	0.0017	0.1300	0.0081	0.0039	0.3632	0.6970	0.2465
Salinidad	72	R	-0.3663	-0.1549	0.1773	-0.1453	-0.3121	0.5701	0.0007	0.1493	-0.0336
		P	0.0016	0.1938	0.1363	0.2232	0.0076	0.0000	0.9955	0.2107	0.7796
pH	72	R	-0.1884	-0.4257	-0.4070	-0.1217	-0.0598	0.0035	-0.1162	-0.1899	-0.2143
		P	0.1130	0.0002	0.0004	0.3085	0.6177	0.9770	0.3310	0.1100	0.0707
Densidad	72	R	-0.3648	0.2101	0.1955	-0.1138	-0.0352	0.3475	0.1267	0.1755	0.1107
		P	0.0016	0.0764	0.0998	0.3413	0.7820	0.0028	0.2888	0.1404	0.3548
Oxígeno disuelto	72	R	-0.2103	-0.2103	-0.5006	0.0077	-0.1240	-0.0737	-0.1336	-0.3154	-0.1801
		P	0.0762	0.0203	0.0000	0.9887	0.2994	0.5386	0.2632	0.0070	0.1301
Saturación de oxígeno	72	R	-0.1918	-0.5131	-0.5170	-0.0103	-0.1547	-0.0292	-0.1422	-0.3061	-0.1885
		P	0.1065	0.0000	0.0000	0.9314	0.1944	0.8076	0.2335	0.0089	0.1128
NO ₃ ⁻	54	R	0.3393	-0.1563	0.0234	-0.1833	-0.2822	0.3499	0.2512	-0.0735	-0.0758
		P	0.0121	0.1784	0.8667	0.1847	0.0387	0.0095	0.0669	0.5975	0.5859
NO ₂ ⁻	36	R	0.2314	0.1019	0.1039	-0.0012	0.0568	0.0045	-0.1672	-0.1495	0.1263
		P	0.1745	0.5543	0.5464	0.9947	0.7419	w0.9792	0.3297	0.3840	0.4629
NH ₄ ⁺	36	R	0.2687	0.2222	-0.0744	0.3683	0.1527	-0.3802	0.0059	0.0620	-0.0215
		P	0.1131	0.1927	0.6662	0.9196	0.3739	0.0222	0.9726	0.7192	0.9009
HPO ₄ ⁻	72	R	0.1396	0.2122	0.1204	0.1158	0.1747	0.0549	-0.1630	-0.0455	0.0254
		P	0.2423	0.0735	0.3138	0.3327	0.1421	0.6470	0.1712	0.7040	0.8322

DISCUSIÓN

En el período comprendido entre febrero y junio de 2008, cuando se presentaron las épocas seca mayor y lluviosa menor en la zona costera del departamento del Magdalena, la estación lluviosa menor mostró una baja intensidad producto de la oscilación en el desplazamiento hacia el norte de la ZCIT (CIOH, 2008), desencadenando importantes efectos sobre la dinámica oceanográfica. Dichos efectos, representados principalmente por la salinidad, que incluso evidenció un aumento, fluctuando entre 35.1 y 36.6. Por otra parte, la intensidad de los vientos alisios del NE generó eventos de surgencia para los cuatro muestreos iniciales. A diferencia de los dos muestreos finales (5 y 6) donde no se desarrollaron eventos de surgencia, a causa de un notorio debilitamiento de los alisios del NE. Hechos evidenciados por la temperatura superficial del mar (TSM), que mostró valores bajos en el inicio del período (muestreo 1, Figura 2a) con 23.4 °C, y paulatinamente fue en aumento llegando hasta 30 °C (muestreo 5, Figura 2a). No obstante, las diferencias en las condiciones oceanográficas entre períodos y/o estaciones no fueron significativas (Wilcoxon $p > 0.05$). Los valores de TSM registrados en el presente estudio están entre los ámbitos encontrados en trabajos anteriores para la zona costera del departamento del Magdalena (Ramírez, 1983, 1990; Andrade, 1993; Bernal, 1994; Blanco *et al.*, 1994; Franco-Herrera *et al.*, 2006; Arévalo-Martínez y Franco Herrera, 2008). Se resalta el registro de valores de salinidad por encima de 36.0, los cuales resultan atípicos en el período de lluvias de acuerdo con lo registrado en los trabajos anteriormente mencionados.

Las concentraciones de nutrientes inorgánicos no presentaron una alta variabilidad con relación a las épocas climáticas (*i.e.* seca mayor y lluviosa menor). Las concentraciones de amonio (NH_4^+) y nitritos (NO_2^-) se encuentran entre los ámbitos registrados por diversos autores para el área (Tabla 5). Sin embargo, las concentraciones de nitratos mayores a 30 $\mu\text{g-at N-NO}_3^-/\text{L}$, propias de este estudio, superan por mucho las registradas para la zona costera del departamento del Magdalena y hacen comparable este escenario de surgencia con sistemas como los de Perú (Ramírez, 1990), Chile (Iriarte *et al.*, 2007) y África noroccidental (Ramírez, 1990), tal como lo describe García-Hoyos (2008). Asimismo, la concentración de ortofosfatos (HPO_4^-) superan los valores registrados para la zona (Tabla 5).

La mayor proporción de diatomeas durante la totalidad de la investigación es típica de ambientes de surgencia costera (Bruland *et al.*, 2001; Santander *et al.*, 2003, Tabla 6). El grupo de las diatomeas es cosmopolita, muy diverso, con un muy elevado número de formas marinas (McConnaughey, 1974; Round *et al.*, 1990), y presenta adaptaciones a aguas turbulentas como las del Caribe, que aseguran su permanencia en el medio (Balech, 1977; Corredor, 1979b). Asimismo, se ha demostrado una mayor actividad enzimática de las nitrato/nitrito reductasas en especies de diatomeas

en comparación a especies de flagelados (Iriarte *et al.*, 2007), lo que les atribuye la capacidad de aprovechar ofertas de NO_3^- y NO_2^- , con mayor efectividad. Esto último, es consecuente con las altas concentraciones de nitratos registradas en este estudio, que habrían favorecido el crecimiento de las diatomeas por encima de otros grupos taxonómicos. Dentro del grupo de las diatomeas, es notable la dominancia de 11 géneros: *Chaetoceros* (colonial, c), *Skeletonema* (c), *Rhizosolenia* (c), *Guinardia* (c), *Bacteriastrium* (c), *Leptocylindricus* (nc), *Helicotheca* (nc), *Thalassionema* (c), *Asterionellopsis* (c), *Pseudo-nitzschia* (nc) y *Nitzschia* (nc). Las formas coloniales son las más abundantes, pues al parecer presentan ventajas al aumentar la fricción que disminuye la velocidad de sedimentación (Balech, 1977; Santander *et al.*, 2003). Además, mantienen alta eficiencia en términos de captación de luz, incorporación de nutrientes y crecimiento, dado que cada célula conserva su individualidad, viéndose favorecida por una mayor relación superficie/volumen, lo que se traduce en un mayor aprovechamiento de las condiciones propias de un evento de surgencia costera (Balech, 1977; Santander *et al.*, 2003).

Tabla 5. Ámbitos de concentración de amonio (NH_4^+), nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-) y ortofostatos (HPO_4^-), expresados en $\mu\text{g-at/L}$, para cuatro locaciones del departamento del Magdalena. Los valores resaltados indican los resultados del presente estudio. ND: No determinado (tomado de García-Hoyos, 2008).

Estación	Autores	NH_4^+	NO_3^-	NO_2^-	HPO_4^-
Ensenada de Gaira	Arévalo-Martínez y Franco-Herrera (2008)	0.000 - 4.098	8.24 - 10.19	0.342 - 0.409	0.291 - 0.315
	Campos <i>et al.</i> (2004)	< 0.01 - 7.84	ND	< 0.01 - 5.6	< 0.01 - 0.92
	Barragán <i>et al.</i> (2003)	< 0.01 - 4.78	ND	0.01 - 0.71	0.01 - 2.44
Bahía de Chengue	Rodríguez-Ramírez y Garzón-Ferreira (2003)	< 0.1 - 8.41	ND	0.0 - 0.71	< 0.03 - 0.54
	Tigresos <i>et al.</i> (1999)	0.10 - 0.71	ND	0.01 - 1.49	0.01 - 1.92
Ensenada de Gaira	Serna y Vallejo (1996)	0.17 - 2.00	ND	0.07 - 0.87	0.16 - 2.34
	Londoño (1995)	0.02 - 2.3	ND	0.01 - 1.25	ND
Ensenada de Gaira	Presente estudio	0.04 - 5.46	3.46 - 22.69	3.24 - 3.62	2.66 - 3.35
Ensenda de Granate	Presente estudio	0.04 - 2.96	2.69 - 31.54	3.24 - 3.43	2.72 - 4.68
Bahía de Taganga	Presente estudio	ND	1.92 - 26.15	ND	2.59 - 2.66

A partir de la composición por géneros-taxa, no se evidenciaron discrepancias significativas de la comunidad fitoplanctónica entre condiciones de surgencia y no surgencia (Figura 4a). Esto puede deberse a un gran porcentaje (71 %) de los géneros comunes a las dos condiciones oceanográficas, lo que puede ser atribuido a las características fisicoquímicas que no se diferencian significativamente; resultado equiparable con lo registrado por Franco-Herrera y Torres-Sierra (2006). Sin embargo, se denota una segregación temporal, en respuesta a grupos específicos que estarían caracterizando cada período (S-NS).

Tabla 6. Porcentaje de representación de diatomeas para varias locaciones que comprenden el período 1974 – 2007.

Estación	Autores	Porcentaje de diatomeas
Ensenada de Gaira	Torres-Sierra (2006)	85
Golfo de Salamanca y PNNT	Franco-Herrera (2001)	> 70
Ensenada de Gaira y bahías de Chengue y Concha	Tigreros (2001)	> 70
Península de la Guajira	Duarte (1996)	> 70
Bahía de Neguangué	Caicedo (1975)	> 70
Bahía de la Paz (Baja California Sur)	Signoret y Santoyo (1980)	71.2
Bahía de Taganga y ensenadas de Gaira y Granate	Presente estudio	> 90

Por otra parte, las densidades celulares mostraron marcadas diferencias entre los dos períodos. El índice de Bray-Curtis (Figura 4b) permitió observar la formación de varias agrupaciones, producto de una segregación temporal con mayores densidades en surgencia, y en las capas superiores del agua. Al parecer, los pulsos de surgencia modularon condiciones físicas y químicas adecuadas para la proliferación (aumento en la densidad) de la comunidad fitoplanctónica, representadas especialmente por el género *Chaetoceros*. Igualmente, cabe resaltar que el retraso en la aparición de la temporada de lluvias en 2008 y la disminución en la intensidad de los vientos alisios del NE, generaron una disminución en el aporte de nutrientes proveniente de descargas continentales y en la surgencia, generando un descenso de la abundancia fitoplanctónica. Esto lleva a señalar a este último (junio-julio) como un período transicional, caracterizado por la presencia de géneros de crecimiento rápido y de alta adaptabilidad, principalmente a *Skeletonema* (Rojas y Estrada, 1976; Sakshaug *et al.*, 1989), con densidades más altas en condiciones de no surgencia.

La dominancia del género *Chaetoceros* en períodos de surgencia (febrero-abril de 2008), junto con su alta densidad en ausencia de afloramientos de agua (junio-julio de 2008), pudo deberse a que la mayoría de sus especies son euritéricas, eurihalinas y producen hiposporas (Calderón, 1986), lo que les atribuye amplios ámbitos de supervivencia, incluso en condiciones desfavorables (Pitcher, 1990). Así mismo, el estar ornamentados con largas setas, les permite la formación de colonias lo cual representa una gran ventaja ya que pueden permanecer en diferentes estratos del agua (Hafner *et al.*, 1980; Waite, 1996). Ha sido documentado el dominio de estos géneros en el área en diferentes períodos climáticos (tanto en época seca como

de lluvias) (Franco-Herrera y Torres-Sierra, 2006), lo que muestra por parte de éstos una gran capacidad de adaptación y aprovechamiento de diferentes condiciones características de dichas épocas.

Mayores densidades fitoplanctónicas durante el período de surgencia en comparación con no surgencia, son contrarias a lo registrado en trabajos anteriores para el área (Caicedo, 1975; Franco-Herrera, 2001; Tigreros, 2001; Franco-Herrera y Torres-Sierra, 2006). Sin embargo, pese a haber encontrado mayores densidades en surgencia, los valores registrados son inferiores a los hallados en otros focos de afloramiento en el mundo (Tabla 7). Un factor a tener en cuenta es la salinidad que presentó una asociación negativa con la densidad celular (Tabla 4). Ello permitiría inferir que los ámbitos de salinidad habrían superado los intervalos de tolerancia de algunas de las especies que componen la comunidad fitoplanctónica en este estudio, convirtiéndose en un factor limitante para su crecimiento. Moronta *et al.* (2006) encontraron que en condiciones axénicas autotróficas, valores altos de salinidad (35) inhiben el crecimiento microalgal hasta en un 90 %.

Tabla 7. Ámbitos de densidad celular, para diferentes focos de surgencia y sistemas costeros, comprendidas entre 1997 y 2005.

Estación	Autores	Densidad cel/L
Bahía de Magallanes, Chile	Pizarro <i>et al.</i> (2005)	100 - 27.4 x 10 ⁵
Zona costera del Iquique, Chile	Santander <i>et al.</i> (2003)	2.08 x 10 ³ - 1.15 x 10 ⁶
Bahía de Independencia, Perú	Ochoa y Tarazona (2003)	50.8 x 10 ³ - 11.9 x 10 ⁵
Laguna costera, golfo de California	Martínez-López y Garate (1997)	101 x 10 ³ - 652 x 10 ³

Los resultados de densidad celular actuales ostentan un ámbito más amplio (246.40-26392.80 cel/L) con respecto a lo registrado por Franco-Herrera y Torres-Sierra (2006; 344.11 – 7044.47 cel/L) para la ensenada de Gaira. Puesto que las concentraciones de NO₃⁼ se relacionaron positivamente con la densidad celular (Tabla 4), se hace evidente que mayores concentraciones de NO₃⁼ favorecen el aumento de la densidad. Lo que podría explicar las abundancias celulares superiores propias de este estudio, dado que las concentraciones de este macronutriente (31.54 µg-at-N-NO₃⁼/L) superan por mucho las registradas por Arévalo (2007) (10.20 µg-at-N-NO₃⁼/L), a lo que se suman concentraciones de ortofosfatos (0.31 µg-at-P-HPO₄⁼/L) igualmente superiores (4.68 µg-at-P-HPO₄⁼/L) (García-Hoyos, 2008), que habrían favorecido el crecimiento de las poblaciones fitoplanctónicas.

Toda esta dinámica en la composición y abundancia fitoplanctónica llevó a que la diversidad mostrara una variabilidad acorde a los períodos climáticos en presencia y ausencia de afloramientos, a causa principalmente de la densidad celular. Manifestando valores altos con respecto a bajas densidades celulares y viceversa. Las variables temperatura del agua y pH presentaron una asociación negativa con los atributos estructurales de la comunidad fitoplanctónica como lo son riqueza, diversidad y números de Hill N0, lo que podría explicar, en términos de diversidad, la disminución registrada para el período de no surgencia (S: 2.25 ± 0.16 - NS: 1.88 ± 0.19), donde se registraron los picos de las variables físicas y químicas en mención. La mayor parte de los valores de diversidad de Shannon – Weaver y uniformidad de Pielou (equiparabilidad) del presente estudio se mantienen dentro de los ámbitos registrados tanto para la costa Caribe colombiana como para diferentes regiones del mundo con afloramientos de aguas subsuperficiales (Tabla 8).

Tabla 8. Ámbitos de diversidad Shannon–Weaver (H') y uniformidad de Pielou (J' = equiparabilidad), para diferentes locaciones, comprendidas entre 1978 y 2007. ND: no determinado.

Estación	Autores	H'	J'
Ensenada de Gaira	Franco-Herrera y Torres-Sierra (2006)	2.4 - 2.6	0.57 - 0.75
Bahía Cispatá	Vásquez (2006)	2.02 - 6.34	0.33 - 0.88
Ensenada de Gaira	Torres <i>et al.</i> (1993)	2.25 - 3.96	0.42 - 0.78
Pacífico colombiano	Mora (1993)	2.83 - 4.23	0.66 - 0.99
Región de Magallanes (47 y 52 S)	Pizarro <i>et al.</i> (2005)	0.1 - 2.47	ND
Zona costera del Iquique, Chile	Santander <i>et al.</i> (2003)	0.2 - 2.8	0.04 - 0.62
Bahía de Independencia, Perú	Ochoa y Tarazona (2003)	0.5 - 4.0	0.1 - 0.84
Bahía de Concepción	Martínez-López y Gárate (1997)	1.9 - 2.5	ND
Bahía de la Paz (Baja California sur)	Signoret y Santoyo (1980)	1.98 - 4.02	ND
Noroeste de África	Margalef (1978)	2.4 - 2.6	ND
Bahía de Taganga y, Ensenadas de Gaira y Granate	Presente estudio	0.65 - 2.42	0.25 - 0.90

Durante la época seca, la biomasa fitoplanctónica (chl-*a*), fue baja ($0.007 - 1.610 \text{ mg/m}^3$) ante la magnitud de los eventos de surgencia, no obstante fue mayor que en los períodos de no surgencia. Pese a la disponibilidad de nutrientes es significativa ($0.04 - 5.46 \text{ } \mu\text{g-at-N-NH}_4^+/\text{L}$, $3.24 - 3.62 \text{ } \mu\text{g-at-N-NO}_2^-/\text{L}$, $1.92 - 31.54 \text{ } \mu\text{g-at-N-NO}_3^-/\text{L}$, $2.59 - 4.68 \text{ } \mu\text{g-at-P-HPO}_4^-/\text{L}$), probablemente existió un desfase en el tiempo de respuesta por parte de la comunidad fitoplanctónica. Al respecto, Ahumada (1989) señala que la existencia de un período de retardo está asociada al tiempo que necesitan para que se produzca el consumo de los nutrientes transportados por las aguas recientemente afloradas. De ahí que la concentración de NO_3^- apareció como otro factor que se relacionó negativamente con las concentraciones de chl-*a*, indicando que al parecer el consumo de nitrato favorece el crecimiento de

la comunidad fitoplanctónica. Junto a este conjunto de variables, se encuentra la turbulencia del agua (*i.e.* eventos Lasker) cuya asociación significativamente positiva con la chl-*a* (Figura 6) indica que, en general, las mayores biomásas fitoplanctónicas se manifestaron conjuntamente con la ocurrencia de los denominados eventos Lasker, evidenciando, que durante estos picos, la columna de agua no presentó una estratificación ni turbulencia muy altas, permitiendo que los nutrientes recientemente aflorados por turbulencia fueran utilizados por el fitoplancton, condición favorable para el florecimiento fitoplanctónico (Lalli y Parsons, 1993).

Las concentraciones de chl-*a*, en general, se ajustan a lo registrado para la costa Caribe colombiana específicamente para los sistemas oceánicos y costeros. Sin embargo, son bajas con respecto a las registradas para diferentes sistemas de surgencia entre estos, las costas de Chile y Venezuela (Tabla 9)

Tabla 9. Ámbitos de concentración de clorofila *a* (chl *a*), para diferentes locaciones, comprendidas entre 1984 y 2007 (modificado de Franco-Herrera, 2001).

Estación	Tipo de Agua	Autores	Chl- <i>a</i> mg/m ³
Ensenada de Gaira	Costeras	Arévalo-Martínez y Franco-Herrera (2008)	< 0.01 y 2.22
Islas de Providencia y Santa Catalina	Insulares	Campos (2007)	0.057 - 0.849
Golfo de Salamanca	Costeras y oceánicas	Franco-Herrera <i>et al.</i> (2006)	0.76 – 9.61
Parque Nacional Natural Tayrona	Oceánicas	Franco-Herrera <i>et al.</i> (2006)	0.72 – 7.5
Ensenada de Gaira	Costeras	Campos <i>et al.</i> (2004)	0.21 - 2.24
Ensenada de Gaira	Costeras	Barragán <i>et al.</i> (2003)	0.107 - 4.37
Media Guajira, Colombia	Costeras	Colorado (2003)	< 8.0 - >77
Delta del Rio Magdalena, Colombia	Lagunas costeras	Gocke <i>et al.</i> (2003)	62 – 130
Delta del Rio Magdalena, Colombia	Lagunas costeras	Ruiz (1999)	0.58 - 212.18
Plataforma continental de La Guajira, Colombia	Oceánicas	Duarte (1996)	0.76 - 1.52
Parque Nacional Natural Corales del Rosario	Oceánicas	Franco-Herrera <i>et al.</i> (1992)	0.01 - 0.08
Parque Nacional Natural Corales del Rosario	Lagunas costeras	Gualteros <i>et al.</i> (1992)	0.1 - 0.8
Ciénaga Grande de Santa Marta	Lagunas costeras	Hernández y Gocke (1991)	5.6 - 181.7
Bahía de Cartagena	Costeras	Arias y Durán (1982)	0.20 - 19.25
Bahía de Mochina, Venezuela	Costeras	González <i>et al.</i> (2006)	1.11 - 44.59
Zona costera del Iquique, Chile	Costeras	Santander <i>et al.</i> (2003)	5.0 - 11.0
Zona costera del Iquique, Chile	Oceánicas	Santander <i>et al.</i> (2003)	2.0 - 5.0
Bahía de la Florida	Costeras	Philips y Badylak (1996)	0.2 - 39.9
Costa Hellshire, Jamaica	Costeras	Webber y Roff (1996)	0.70 - 2.64
Golfo de México	Costeras y oceánicas	Bianchi <i>et al.</i> (1995)	0.15 - 2.85
Plataforma continental noreste de Venezuela	Costeras y Oceánicas	Rodríguez y Varela (1987)	0.1 - 5.2
Costa central de Chile	Oceánicas	Arcos y Salamanca (1984)	5.0 - 20.0
Bahía de Taganga y ensenadas de Gaira y Granate	Costeras	Presente estudio	< 0.01 - 1.610

Los valores IAF_1 (> 2.0) permitieron inferir la presencia de comunidades fotosintéticamente activas durante los eventos de surgencia, lo cual es consecuente con lo registrado por Estrada y Blasco (1985), Margalef (1985) y Corredor (1992), quienes afirman que la fertilización de aguas resultante de afloramientos estimula la respuesta de la comunidad autótrofa. De manera contraria, en ausencia de pulsos de surgencia se evidenciaron procesos de degradación de los pigmentos fotosintéticos por senescencia y/o presión de pastoreo. Los valores de IAF_2 se mostraron bajos durante el período de muestreo (< 2.0), indicando que las concentraciones de chl-*a* y carotenoides fueron similares, no obstante, durante no surgencia se evidenció un aumento en la concentración de carotenoides. Al respecto, Moronta *et al.* (2006) encontraron que el incremento en la salinidad favorece el aumento en la concentración de carotenoides. En síntesis, los resultados encontrados evidencian que las aguas costeras de la bahía de Taganga y las ensenadas de Gaira y Granate tienen bajas concentraciones de chl-*a* junto con bajas densidades fitoplanctónicas, con una estructura comunitaria típica de aguas de afloramientos ocasionales, con predominancia de diatomeas grandes o coloniales, baja diversidad y cambios drásticos en términos de densidad celular y biomasa fitoplanctónica asociados a cambios en las condiciones moduladas por eventos de surgencia y ausencia de estos entre épocas climáticas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen especialmente a la Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, al Programa de Biología Marina, a la Dirección de Investigación, Creatividad e Innovación de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano y a su personal, por la financiación total del proyecto y el apoyo logístico, así como equipo científico y administrativo de la sede Santa Marta. Igualmente, a los evaluadores anónimos y editores encargados por sus comentarios y correcciones para el fortalecimiento del manuscrito. Esta investigación se realizó dentro del marco del proyecto "Variabilidad oceanográfica de la zona costera del departamento del Magdalena, Caribe colombiano", código 96/03/07, dentro del Grupo de Investigación Dinámica y Manejo de Ecosistemas Marino-Costeros, de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, A. 1989. Composición y estructura de la comunidad de corales hermatípicos en tres zonas representativas de la región de Santa Marta (mar Caribe colombiano). Trabajo de grado Biol., Univ. Nacional de Colombia, Bogotá. 242 p.
- Ahumada, R. 1989. Producción y destino de la biomasa fitoplanctónica en un sistema de bahías en Chile central: una hipótesis. *Biol. Pesq.*, 18: 53-63.
- Álvarez, F. 1981. Introducción a la ecología del mar. Fascículos de ecología II. Editorial Mejoras, Bogotá. 90 p.
- Andrade, C. A. 1993. Análisis de la velocidad del viento en el mar Caribe. *Bol. Cient. Cent. Invest. Oceanogr. Hidrogr.*, 13: 33-43.
- Andrade, C. A., E. D. Barton y Ch. N. K. Mooers. 2003. Evidence for an eastward flow along the Central and South American Caribbean Coast. *J. Geophys. Res.*, 108: 1-11.
- Arcos, D. y M. Salamanca. 1984. Distribución de clorofila y condiciones oceanográficas frente a Chile central (latitudes 32°S-38°S). *Biol. Pesq.*, 13: 5-14.
- Arévalo, D. L. 2007. Acoplamiento océano-atmósfera en el desarrollo de la surgencia frente a las costas de la ensenada de Gaira, Caribe Colombiano, época seca menor. Trabajo de grado Biol. Mar., Univ. Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta. 107 p.
- Arévalo-Martínez, D. y A. Franco-Herrera. 2008. Características oceanográficas de la surgencia frente a la ensenada de Gaira, departamento del Magdalena. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 37 (2): 131-162.
- Arias, F. y J. Durán. 1982. Variación anual del fitoplancton en la bahía de Cartagena para 1980. Trabajo de grado Biol. Mar., Univ. Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Cartagena. 69 p.
- Balech, E. 1977. Introducción al fitoplancton marino. Universitaria, Buenos Aires. 194 p.
- Balech, E. 1988. Los dinoflagelados del Atlántico sudoccidental. Publicaciones Especiales Instituto Español de Oceanografía. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid. 310 p.
- Barragán, R. G., F. Maldonado, S. Nieto y A. Franco-Herrera. 2003. Relación de la biomasa fitoplanctónica con la dinámica fisicoquímica y meteorológica de la capa de mezcla en la bahía de Gaira, Caribe colombiano, durante el período agosto-noviembre de 2003. Informe final, Seminario de investigación, Facultad de Biología Marina. Univ. de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta. 57 p.
- Bernal, A. R. 1994. Aspectos ecológicos de la comunidad de zooplancton nerítico en el departamento del Magdalena. Tesis de Maestría Biol., Univ. Nacional de Colombia, Santa Marta. 72 p.
- Bianchi, T., C. Lambert y D. Biggs. 1995. Distribution of chlorophyll *a* and phaeopigments in the northwestern Gulf of México. A comparison between fluorometric and high performance liquid chromatography measurements. *Bull. Mar. Sci.*, 56 (1): 25-32.
- Blanco, J., J. Díaz, G. Ramírez y M. Cortés. 1994. El banco de las Ánimas: una amplia formación arrecifal desarrollada sobre un antiguo delta del río Magdalena. *Bol. Ecológica.*, 27: 10-18.
- Botes, L. 2003. Phytoplankton identification catalogue. Saldanha Bay, South Africa, April 2001.

- GloBallast Monograph. Series No. 7. IMO, Londres. 77 p.
- Bruland, K., E. Rue y G. Smith. 2001. Iron and macronutrients in California coastal upwelling regimes: Implications for diatom blooms. *Limnol. Oceanogr.*, 46 (7): 1661-1674.
- Bula-Meyer, G. 1985. Un núcleo nuevo de surgencia en el Caribe colombiano detectado en correlación con las distribuciones de las algas. *Bol. Ecotrópica*, 12: 3-25.
- Bula-Meyer, G. 1990. Oceanografía. 100-113. En: Jimeno, M. C. (Ed.). *Caribe Colombia*. Primera edición, Fondo FEN-Colombia, Folio Ltda., Bogotá. 271 p.
- Cabrera, E. y M. Donoso. 1993. Estudio de las características oceanográficas del Caribe colombiano, Región III, Zona 1, PDCTM. *Bol. Cient. Cent. Invest. Oceanogr. Hidrogr.*, 13: 19-32.
- Caicedo, I. E. 1975. Productividad primaria y fitoplancton en la bahía de Nequange (Parque Nacional Natural Tayrona). *An. Inst. Invest. Mar. Punta de Betín*, 9: 7-14.
- Calderón, E. 1986. Las diatomeas en el plancton de los esteros de la rada de Tumaco (Pacífico colombiano), con observaciones ecológicas y biogeográficas. Trabajo de grado Biol. Mar., Univ. Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. 206 p.
- Campos, E. M. 2007. Fitoplancton de las islas de Providencia y Santa Catalina, Caribe colombiano. Trabajo de grado Biol. Mar., Univ. Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta. 77 p.
- Campos, E. M., J. Orejarena, M. Palomino y A. Franco-Herrera. 2004. Dinámica de la biomasa fitoplanctónica en la capa de mezcla y su relación con la oceanometeorología de la bahía de Gaira, Caribe colombiano. Fase II: Febrero-mayo de 2004. Informe final, Seminario de investigación, Facultad de Biología Marina, Univ. Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta. 53 p.
- Chretiennot-Dinet, S., A. Sournia, M. Ricard y C. Billard C. 1993. A classification of the marine phytoplankton of the world from class to genus. *Phycologia*, 32 (3): 159-179.
- CIOH. 2008. Programa SARPAP: Sistema Automatizado de Recepción y Pronóstico del CIOH. <http://www.sarpar.cioh.org.co/SARPAP/goes.php>. 06/30/08.
- Clarke, K. y M. Ainsworth. 1993. A method of linking multivariate community structure to environmental variables. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 92: 205-219.
- Clarke, K. y R. Warwick. 1994. Changes in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation. Natural Environment Research Council, Londres. 144 p.
- Clarke, K. y R. Warwick. 2001. Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation. Segunda edición. PRIMER-E Ltd., Plymouth, Reino Unido. 82 p.
- Colorado, M. 2003. Valoración de las variables fisicoquímicas, biomasa fitoplanctónica y biomasa mesozooplanctónica en las aguas costeras del proyecto "Ciudadela Camaronera" en la media Guajira, Caribe colombiano en los meses de enero a mayo de 2002. Trabajo de grado Biol. Mar., Univ. Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. 149 p.
- Corredor, J. E. 1979a. Phytoplankton response to low level nutrient enrichment through upwelling in the Colombian Caribbean basin, *Deep Sea Res., Part A*, 26: 731-741.
- Corredor, J. 1979b. Aspects of phytoplankton dynamics in the Caribbean sea and adjacent regions. *FAO Fisheries Report. Simposio sobre los adelantos en las investigaciones en el Caribe y regiones adyacentes*, (200): 101-114.

- Corredor, J. 1992. Dinámica espacio-temporal de la surgencia de La Guajira. 206-221. En: CCO (Ed.). Memorias VIII Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar. Comisión Colombiana de Oceanografía, Santa Marta. 1144 p.
- Cupp, E. 1943. Marine plankton diatoms of the West coast of North America. Bull. Scripps Inst. of Oceanogr. Univ. California, La Joya, EE. UU. 238 p.
- Díaz, J. M., L. M. Barrios, M. H. Cendales, J. Garzón-Ferreira, J. Geister, M. López-Victoria, G. H. Ospina, F. Parra-Velandia, J. Pinzón, B. Vargas-Ángel, F. Zapata y S. Zea. 2000. Áreas coralinas de Colombia. Serie de Publicaciones Especiales No. 5, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR, Santa Marta. 176 p.
- Donoso, M. 1990. Circulación de las aguas en el mar Caribe. 345-354. En: CCO (Ed.). Memorias VII Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar. Comisión Colombiana de Oceanografía, Cali. 792 p.
- Duarte, G. 1996. Estructura del fitoplancton al noroeste de La Guajira, durante el crucero Caribe 1-93. Trabajo de grado Biol. Mar., Univ. Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta. 98 p.
- Estrada, M. y D. Blasco. 1985. Phytoplankton assemblages in coastal upwelling areas. Simposio internacional sobre áreas de afloramiento en el oeste africano. Inst. Inv. Pesq., 1: 379-402.
- Franco-Herrera, A. 2001. Estrategias de ingestión y flujo de carbono entre fitoplancton y *Eucalanus* spp. (Copepoda: Calanoidea) en dos ambientes oceanográficos del Caribe central colombiano. Informe final, Centro de Investigaciones Científicas, Facultad de Biología Marina, Univ. Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta. 67 p.
- Franco-Herrera, A. 2005. Una aproximación a la oceanografía de la ensenada de Gaira: El Rodadero, más allá que un centro turístico. Univ. Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta. 58 p.
- Franco-Herrera, A. 2006. Variación estacional del fitoplancton y mesozooplancton e impacto de herbivoría de *Eucalanus subtenuis*, Giesbrecht, 1888 (Copepoda: Eucalanidae) en el Caribe colombiano. Tesis de Doctorado Oceanogr., Univ. Concepción, Concepción, Chile. 209 p.
- Franco-Herrera, A. y E. A. Torres-Sierra. 2006. La comunidad fitoplanctónica en el evento de surgencia frente al mar Caribe centro de Colombia. Actual. Divulg. Cient., 10 (1): 159-172.
- Franco-Herrera, A., D. Avendaño, W. Bernal y M. Uribe. 1992. Contribución al conocimiento del plancton de Isla Tesoro, Parque Nacional Natural Corales del Rosario, Caribe colombiano. 754-762. En: CCO (Ed.). Memorias VIII Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar y I Congreso Centroamericano y del Caribe de Ciencias del Mar. Comisión Colombiana de Oceanografía, Santa Marta. 1144 p.
- Franco-Herrera, A., L. Castro y P. C. Tigreros. 2006. Plankton dynamics in the South-Central Caribbean sea: Strong seasonal changes in a coastal tropical system. Caribb. J. Sci., 42 (1): 24-38.
- García-Hoyos, L. M. 2008. Dinámica en el acoplamiento océano-atmósfera y su influencia en la biomasa fitoplanctónica durante un evento de surgencia y no surgencia en la zona costera del departamento del Magdalena. Trabajo de grado Biol. Mar., Univ. Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta. 130 p.
- Gocke, K., J. E. Mancera-Pineda, L. A. Vidal y D. Fonseca. 2003. Phytoplankton primary production

- and community respiration in several coastal lagoons of the outer Delta of the Río Magdalena, Colombia. *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 32: 125-144.
- González, F., E. Zoppi de Roa y E. Montiel. 2006. Productividad primaria del fitoplancton en la bahía de Mochima, Venezuela. *Invest. Mar.*, 34 (2): 37-45.
- Google Earth. 2008. Beta 4.1. <http://www.google.com>. 05/05/08.
- Gualteros, W., C. Hernández, A. Castillo y A. Fresneda. 1992. Clorofila y seston total en la laguna costera de Cocoliso, Isla Grande, Parque Nacional Natural Corales del Rosario. 512-521. En: CCO (Ed.). *Memorias VIII Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar y Congreso Centroamericano y del Caribe de Ciencias del Mar*, Santa Marta. 1144 p.
- Guisande, C. 2006. *Tratamiento de datos*. Ediciones Díaz de Santos, Vigo. 336 p.
- Hafner, G., G. Harris y M. Jarai. 1980. Physical variability and phytoplankton communities. III: Vertical structure in phytoplankton populations. *Arch. Hydrobiol.*, 89 (3): 363-381.
- Hernández-Camacho, J. 1998. Colombia: patria de tres mares. *Expolisboa* 98. Diego Samper Ediciones, Bogotá. 240 p.
- Hernández, C. y K. Gocke. 1991. Productividad primaria de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *An. Inst. Inv. Mar. Punta de Betín*, 19: 101-119.
- IDEAM. 2008. Pronóstico de pleamares y bajamares costa Caribe colombiana. Informe técnico, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. Bogotá. 123 p.
- INVEMAR. 2003. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos: aguas, sedimentos y organismos. Serie de Documentos Generales No. 13, Santa Marta. 177 p.
- INVEMAR. 2004. Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia. Serie de Publicaciones Periódicas No. 8, Santa Marta. 327 p.
- Iriarte, J., R. Quiñones, R. González y C. Valenzuela. 2007. Relación entre actividad enzimática y biomasa de ensamblajes fitoplanctónicos en el sistema pelágico. *Invest. Mar.*, 35 (1): 71-84.
- Lalli, C. M. y T. R. Parsons. 1993. *Biological oceanography: An introduction*. Pergamon Press, Oxford. 301 p.
- Lynch, J. M. y N. J. Poole. 1979. *Microbial ecology: a conceptual approach*. Blackwell Scientific Publications, Londres. 238 p.
- Margalef, R. 1978. Phytoplankton communities in upwelling areas. The Example of NW Africa. *Oecol. Aquat.*, 3: 97-132.
- Margalef, R. 1985. Primary production in upwelling areas: energy, global ecology and resources. Simposio Internacional sobre Áreas de Afloramiento en el Oeste Africano. *Ins. Inv. Pesq.*, 1: 225-232.
- Margalef, R. 1991. *Ecología*. Editorial Planeta, Barcelona. 951 p.
- Martínez, S. y A. Acosta. 2005. Cambio temporal en la estructura de la comunidad coralina del área de Santa Marta-Parque Nacional Natural Tayrona (Caribe colombiano). *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 34: 161-191.
- Martínez-López, A. e I. Gárate. 1997. Variación diurna de la materia orgánica particulada en una laguna costera del golfo de California. *Rev. Biol. Trop.*, (45): 1421-1428.

- McConnaughey, B. 1974. Introducción a la biología marina. Editorial Acribia, Zaragoza. 445 p.
- Mora, M. A. 1993. Contribución al conocimiento de los dinoflagelados de las zonas de sumergencia. Trabajo de grado Biol. Mar., Univ. Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Cartagena. 41 p.
- Moronta, R., R. Mora y E. Morales. 2006. Respuesta de la microalga *Chlorella sorokiniana* al pH, salinidad y temperatura en condiciones axénicas y no axénicas. Rev. Fac. Agron., 23: 27-41.
- Müller, K. 1979. Interrelaciones entre salinidad y temperatura en la bahía de Santa Marta. Bol. Invest. Mar. Cost., 13: 219-226.
- Ochoa, N. y J. Tarazona. 2003. Variabilidad temporal de pequeña escala en el fitoplancton de Bahía Independencia, Pisco, Perú. Rev. Per. Biol., 10 (1): 59-66.
- Paramo, J. y R. Roa. 2003. Acoustic-geostatistical assessment and habitat-abundance relations of small pelagic fish from the Colombian Caribbean. Fish. Res., 60: 309-319.
- Paramo, J. y J. Viaña. 2003. Evaluación hidroacústica del machuelo (*Opisthonema oglinum*) y la sardina (*Sardinella aurita*), en la zona norte del Caribe colombiano, durante julio-agosto y diciembre de 1997. Bol. Invest. Mar. Cost., 31: 32-52.
- Paramo, J., R. A. Quiñones., A. Ramírez y R. Wiff. 2003. Relationship between biomass density of small pelagic and environmental factors in the Colombian Caribbean Sea: an analysis based on hydroacoustic information. Aq. Liv. Res., 16 (3): 239-245.
- Parra, O., M. González, V. Dellarossa, P. Rivera y M. Orellana. 1982. Manual taxonómico del fitoplancton de aguas continentales, con especial referencia al fitoplancton de Chile. Tomo I. al V. Univ. Concepción, Concepción, Chile. Vol. 1, Cyanophyceae, 1982; Vol. 2, Chrysophyceae-Xanthophyceae, 1982; Vol. 3, Cryptophyceae, Dinophyceae y Euglenophyceae, 1982 ; Vol. 4, Bacillariophyceae, 1982; Vol. 5 (partes 1 y 2), Chlorophyceae, 1983.
- Philips, E. y S. Badylak. 1996. Spatial variability in phytoplankton standing crop and composition in shallow inner-shelf lagoon, Florida Bay. Bull. Mar. Sci., 58 (1): 203-216.
- Pitcher, G. 1990. Phytoplankton sea populations of the Cape Peninsula upwelling plume, with particular reference to resting spores of *Chaetoceros* (Bacillariophyceae) and their role in seeding upwelling waters. Est. Coast. Shelf. Sci., (31): 283-301.
- Pizarro, G., V. Montecino, L. Guzmán, V. Muñoz, V. Chacón, H. Pacheco, M. Frangópulos, L. Retamal y C. Alarcón. 2005. Patrones locales recurrentes del fitoplancton en fiordos y canales Australes (43° - 56° S) en primavera y verano. Cienc. Tecnol. Mar., 28 (2): 63-83.
- Pond, S. y G. Pickard. 1983. Introductory dynamical oceanography. Butterwoth Heinemann, Oxford. 329 p.
- Ramírez, G. 1983. Características fisicoquímicas de la bahía de Santa Marta. An. Inst. Inv. Mar. Punta de Betín., 3: 111-121.
- Ramírez, G. 1987. Características hidrodinámicas y composición química de los sedimentos de la bahía de Neguanje, Caribe colombiano. An. Inst. Inv. Mar. Punta de Betín., 17: 15-26.

- Ramírez, G. 1990. Distribución de los nutrientes inorgánicos en las aguas costeras de la región de Santa Marta, Caribe colombiano. 244-254. CCO (Ed.). Memorias VII Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar. Comisión Colombiana de Oceanografía (CCO). Cali 792 p.
- Ramírez, A. 2005. Ecología aplicada. Diseño y análisis estadístico. Univ. Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. 326 p.
- Rodríguez, C. y R. Varela. 1987. Pigmentos clorofilicos e hidrografía en la región noroccidental de Venezuela con énfasis en el golfo de Venezuela. An. Inst. Inv. Mar. Punta de Betín, 17: 3-14.
- Rodríguez-Ramírez, A. y J. Garzón-Ferreira. 2003. Monitoreo de arrecifes coralinos, pastos marinos y manglares en la bahía de Chengue (Caribe colombiano) 1993-1999. Serie de Publicaciones Especiales No. 8, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR, Santa Marta. 170 p.
- Rojas, B. y B. Estrada. 1976. El fitoplancton en el área de Pimentel. Verano de 1972. Inv. Pesq., 40 (2): 463-490.
- Round, F., R. Crawford y D. Mann. 1990. The diatoms: Biology and morphology of the genera. Cambridge University Press, Londres. 747 p.
- Ruiz, D. 1999. Variación cualitativa y cuantitativa del fitoplancton en ciénagas del delta exterior oriental del río Magdalena y su relación con la reapertura del Canal El Clarín. Trabajo de grado Biol. Mar., Univ. Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta. 183 p.
- Sakshaug, S., K. Andresen y A. Kiefer. 1989. A steady state description of growth and light absorption in the marine planktonic diatom *Skeletonema costatum*. Limnol. Oceanogr., 34 (1): 198-205.
- Santander, E., L. Herrera y C. Merino. 2003. Fluctuación diaria del fitoplancton en la capa superficial del océano durante la primavera de 1997 en el norte de Chile (20°18'S): II. Composición específica y abundancia celular. Rev. Biol. Mar. Oceanogr., 38 (1): 13-25.
- Serna, A. y F. Vallejo. 1996. Descripción de algunos parámetros fisicoquímicos de la bahía de El Rodadero, durante el período agosto a noviembre de 1996 (Santa Marta, Caribe colombiano). Informe final, Seminario de investigación, Facultad de Biología Marina, Univ. Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta. 60 p.
- Signoret, M. y H. Santoyo. 1980. Aspectos ecológicos del plancton de la bahía de La Paz, Baja California sur. Anal. Inst. Cien. Mar Limnol., 7: 217-247.
- Suárez-Villalba, V., A. Franco-Herrera y M. L. Cañón. 2007. El microfítoplancton en los principales muelles de la bahía de Cartagena, Caribe colombiano, vectores posibles de floraciones microalgales. Bol. Cient. Cent. Invest. Oceanogr. Hidrogr., 25: 135-149.
- Tigreros, P. 2001. Biodiversidad y valoración bioquímica del fitoplancton marino en ambientes costeros mesotróficos y oligotróficos tropicales, Caribe colombiano. Trabajo de grado Biol. Mar., Univ. Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. 173 p.
- Tigreros, P. C., T. Vanegas, D. Vargas, S. Betancourt y J. Walteros. 1999. Evaluación de la composición especial de las larvas de las clases Stellerioidea y Echinoidea (Echinodermata), considerando algunas condiciones fisicoquímicas de la columna de agua en la bahía de Gaira, Caribe colombiano. Informe final, Seminario de investigación, Facultad de Biología Marina, Univ. Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Santa Marta. 71 p.

- Torres, A., F. Martínez, O. Duarte y R. Orozco. 1993. Caracterización del fitoplancton para el período comprendido entre los meses de agosto-septiembre de 1993 en bahía de Gayraca, Parque Nacional Natural Tayrona, Caribe colombiano. Informe final, Seminario de investigación, Facultad de Biología Marina, Univ. Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Santa Marta. 16 p.
- USF. 2008. Institute for Marine Remote Sensing (IMARS). Sea surface temperature data. University of South Florida. <http://www.imars.usf.edu>. 20/06/08.
- Vásquez, D. 2006. Dinámica estructural de la comunidad fitoplanctónica en la bahía de Cispatá, asociada a la industria camaronera local. Trabajo de grado Biol. Mar., Univ. Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. 99 p.
- Vidal, L. A. 1995. Estudio del fitoplancton en el sistema lagunar estuarino tropical Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia, durante el año 1987. Tesis de Maestría Biol. Univ. Nacional de Colombia, Santa Marta. 207 p.
- Vidal, L. A. y M. C. Carbonell. 1977. Diatomeas y dinoflagelados de la bahía de Cartagena. Trabajo de grado Biol. Mar., Univ. Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá. 150 p.
- Waite, A. 1996. Phytoplankton biodiversity: boxes, spheres, spirals, and sunbursts. *Oceanus reports on research from de Woods Hole Oceanographic Institution*, 39: 2-5.
- Webber, D. F. y J. C. Roff. 1996. Influence of Kingston Harbor on the phytoplankton community of the nearshore coast, southeast Jamaica. *Bull. Mar. Sci.*, 59 (2): 245-258.
- Wetzel, R. 1981. *Limnología*. Editorial Omega, Barcelona. 679 p.
- Zar, J. 1996. *Biostatistical analysis*. Tercera edición. Prentice Hall. Inc. Upper Saddle River, New Jersey. 718 p.

FECHA DE RECEPCIÓN: 30/04/2009

FECHA DE ACEPTACIÓN: 19/07/2010

