

DISTRIBUCIÓN DE LA CLOROFILA *a* EN LAS AGUAS ADYACENTES A LAS ISLAS DE PROVIDENCIA Y SANTA CATALINA, CARIBE COLOMBIANO

Mauricio Campos-González¹, Julián Roberto Vargas Castellanos¹, Andrés Franco-Herrera¹ y Jairo Humberto Medina Calderón²

1 Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Biología Marina, Sede Santa Marta. Carrera 2 No. 11-68, Edificio Mundo Marino, El Rodadero, Santa Marta, Colombia. ed.mcgonzalez@hotmail.com (M.C.G.), julitoivar@hotmail.com (J.R.V.C.), andres.franco@utadeo.edu.co (A.F.H.)

2 Universidad Nacional de Colombia, Sede Caribe, Instituto de Estudios Caribeños, Carretera circunvalar San Luis, San Andrés Islas, Colombia. jhmedinac@unal.edu.co

RESUMEN

Con el fin de determinar la concentración y distribución de la biomasa fitoplanctónica en aguas adyacentes a las islas de Providencia y Santa Catalina, Caribe colombiano, durante los dos periodos climáticos, seco y lluvioso, de 2005, se tomaron 59 muestras de agua en 47 estaciones superficiales y 12 en la columna de agua. Los parámetros fisicoquímicos variaron durante el año, la temperatura fluctuó entre 25-30 °C, la salinidad 28-39 y el pH entre 8.30-9.65. Las concentraciones de clorofila *a* y feopigmento *a* fueron bajas, típicas de zonas oligotróficas oceánicas, la clorofila *a* presentó un promedio para la época seca de 0.198±0.017 µg/L y para la época lluviosa de 0.693±0.149 µg/L, mientras que el feopigmento *a* tuvo un valor por debajo de 0.01 µg/L en ambas épocas climáticas. Se encontró que la comunidad fitoplanctónica es joven y con una alta tasa de renovación.

PALABRAS CLAVES: Biomasa fitoplanctónica, Clorofila *a*, Islas de Providencia y Santa Catalina, Caribe colombiano.

ABSTRACT

Distribution of chlorophyll *a* in waters adjacent to the islands of Old Providence and Santa Catalina Colombian Caribbean. In order to determine the concentration and distribution of the phytoplankton biomass in waters of the islands of Old Providence and Santa Catalina, Colombian Caribbean a survey with 47 superficial samples, 12 in the whole water column, was carried out in 2005. Physicochemical parameters varied through the year; temperature fluctuated between 25 and 30 °C, salinity between 28 and 39, and pH between 8.30 and 9.65. Chlorophyll *a* and phaeopigment *a* concentrations were low, a characteristic of oligotrophic oceanic areas; chlorophyll *a* presented an average of 0.198±0.017 µg/L and 0.693±0.149 µg/L for dry and rainy seasons, while the phaeopigment *a* had a value below 0.01 µg/L in both seasons. It was found that the phytoplanktonic community is young and with an elevated renovation rate.

KEY WORDS: Phytoplankton biomass, Chlorophyll *a*, Old Providence and Santa Catalina islands, Colombian Caribbean.



INTRODUCCIÓN

Las comunidades fitoplanctónicas son los principales productores primarios del medio marino, de los cuales dependen los niveles tróficos superiores para su sostenimiento; esta característica es de suma importancia en los ecosistemas oceánicos y es más tangible en aquellos que no tienen aporte de nutrientes, ya sea por surgencia y/o por escorrentía, dado que la productividad de estas zonas es equiparable a los desiertos (Márquez y Cárdenas, 1996). Este rasgo de dependencia en un ecosistema oligotrófico se observa en el Caribe colombiano en el área de San Andrés (SA), Providencia (P) y Santa Catalina (SC) donde los recursos pesqueros (invertebrados o vertebrados marinos) dependen directa o indirectamente de las comunidades autotróficas (Pérez *et al.*, 2009).

Los estudios de fitoplancton para el área de SA, P y SC son escasos, ya que en su mayoría se han centrado en niveles tróficos de mayor importancia económica; sin embargo, las investigaciones de Márquez y Herrera (1986), Garay *et al.* (1988) y Téllez *et al.* (1988) catalogan a esta comunidad como de baja producción primaria, a causa del escaso aporte de nutrientes, producto de la menor influencia de las Aguas Superficiales del Caribe (ASC) que pueden acarrear compuestos orgánicos e inorgánicos de los ríos más caudalosos de la cuenca (p. ej. Magdalena, Orinoco y Amazonas) y a la poca mezcla vertical en la columna de agua (Molares *et al.*, 2004). Sin embargo, Garay *et al.* (1988) indican que la abundancia del fitoplancton puede aumentar según la cercanía a las islas, a causa de la descarga de aguas servidas provenientes de las actividades antropogénicas, permitiendo la entrada de nutrientes y la creación de una zona de eutroficación (Webber y Roff, 1996), alterando la comunidad fitoplanctónica y a su vez a las que dependen de ella. Esto puede tener un impacto negativo sobre un área que es considerada reserva de la biosfera Seaflower, dentro del programa Man and the Biosphere de la UNESCO (Friedlander *et al.*, 2003).

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la abundancia fitoplanctónica en las zonas costera y oceánica alrededor de P y SC, a partir de las concentraciones de clorofila *a* y feopigmento *a*, con el fin de generar información base sobre la oferta de carbono autotrófico para la red trófica del área, así como detectar posibles áreas de enriquecimiento fitoplanctónico de la comunidad autotrófica por efecto de la actividad antropogénica.

ÁREA DE ESTUDIO

Las islas de P y SC se encuentran en el mar Caribe colombiano y hacen parte del departamento Archipiélago de SA, P y SC. entre 13°17' y 13°31' N y 81°18' y 81°22' W (Díaz *et al.*, 2000) con una temperatura del aire promedio de 27 °C, máxima de 28 °C entre mayo y agosto y mínima de diciembre a febrero cercana a 25 °C (De los Ríos y Cabrera,

1986; N. Rodríguez Martínez, IDEAM, Bogotá, 2002, com. pers.). La precipitación tiene un promedio anual de 1636 mm con un régimen pluviométrico bimodal, que en la época seca, presenta un mínimo de 7 mm (N. Rodríguez Martínez, IDEAM, Bogotá, 2002, com. pers.), en el archipiélago se han definido dos épocas climáticas siendo la época seca de enero a abril y la húmeda de mayo a diciembre (Garay *et al.*, 1988). Los vientos del área provienen del este y noroeste, con una velocidad mínima de 15 km/h durante los meses de agosto a noviembre y máxima de 30 km/h de diciembre a abril, época en la que se presenta la mayor influencia de los vientos Alisios (Geister y Díaz, 1997).

MATERIALES Y MÉTODOS

Fase de campo

La ubicación de las estaciones muestreadas fueron preestablecidas en el marco del macroproyecto “Revalidación de los caladeros de pesca en las islas de Providencia y Santa Catalina, Caribe colombiano” (Santos-Martínez, 2004). Se definieron un total de 13 transectos (Figura 1), en cada uno de ellos se ubicaron estaciones (externas) sobre las isóbatas de 30, 100 y 400 m; además, se tomaron muestras en ocho estaciones costeras (internas) distribuidas en las salidas de agua dulce más importantes de las islas, McBean Lagoon (McB), Old Town (OT), Bottom House (BH) y San Felipe (SF) en los dos periodos climáticos: seco (8-16 de abril) y húmedo (5-13 de octubre) de 2005.

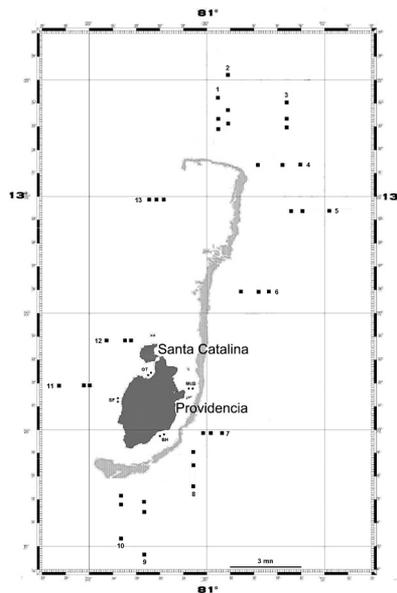


Figura 1. Ubicación de los transectos y las estaciones internas para la toma de muestras, alrededor de las islas de P y SC.

En cada punto de muestreo se tomaron muestras de agua superficial con una botella oceanográfica de 2.2 L de capacidad nominal, a las que inmediatamente se les midió la temperatura con ayuda de un termómetro de mercurio convencional con precisión ± 1 °C y la salinidad con un refractómetro Atago con una precisión de ± 1 . Parte de la muestra se depositó en recipientes plásticos oscurecidos de 25 mL para su posterior análisis de pH. El volumen restante se almacenó en recipientes plásticos oscurecidos de 2 L para el análisis de clorofila *a*, los cuales se refrigeraron en neveras con hielo para evitar la degradación biológica y los cambios fisicoquímicos, hasta su manejo en el laboratorio. Adicionalmente, para observar la distribución vertical de la clorofila *a* en la columna de agua en cada una de las zonas externas, a tres diferentes profundidades de 15, 30 y 45 m se tomaron muestras de agua en una sola estación por área (norte 5, este 8, sur 5 y oeste 5) sobre la isóbata de 100 m.

Fase de laboratorio

La determinación del pH se realizó con una sonda WTW pH330/SET-1 con precisión de ± 0.01 . Para la determinación de los pigmentos fotosintéticos se aplicó el método estándar de extracción con acetona al 90 %, se filtraron 4 L de agua a través de un filtro de fibra de vidrio tipo GF/F humedecidos con gotas de $MgCO_3$ con el fin de evitar la acidificación, posteriormente se almacenaron a oscuras en un desecador refrigerado para posterior análisis con ayuda de un fluorómetro SHIMADZU RF-5301 PC, siguiendo la metodología propuesta por Garay *et al.* (2003).

Fase de gabinete

El cálculo de la concentración de clorofila *a* se realizó aplicando la ecuación:

$$\mu g \text{ Chl } a / L = \frac{\left\{ Fd \cdot \left[\frac{\lambda}{(\lambda - 1)} \right] \cdot (Rb - Ra) \cdot \left(\frac{v}{V} \right) \right\}}{10}$$

y para el feopigmento *a*:

$$\mu g \text{ Feo } a / L = \frac{\left\{ Fd \cdot \left[\frac{\lambda}{(\lambda - 1)} \right] \cdot [\lambda(Ra) - Rb] \cdot \left(\frac{v}{V} \right) \right\}}{10}$$

donde, Fd es un factor de amplitud de la rendija, Rb y Ra corresponden a unidades de intensidad fluorométrica de la muestra sin acidificar y acidificada, respectivamente, λ es la relación entre Rb/Ra para una muestra de clorofila a pura, v es el volumen de acetona empleado para la extracción (mL) y V el volumen de agua filtrada para la determinación en litros. En las muestras que no fue posible determinar la concentración de feopigmento a , se calculó el valor mínimo de detección para el equipo utilizado teniendo en cuenta el volumen filtrado para la extracción. Se calculó el cociente entre la clorofila a y el feopigmento a , para observar el estado fisiológico del fitoplancton disponible para niveles tróficos superiores.

$$\text{Chl } a/\text{Feo } a = \frac{[\text{Chl } a]}{[\text{Feo } a]}$$

donde, $\text{Chl } a$ es la concentración de clorofila a y $\text{Feo } a$ es la concentración de feopigmento a .

Con los datos fisicoquímicos y de pigmentos fotosintéticos se realizó un análisis exploratorio para calcular valores mínimos, máximos, promedios y error estándar; con estos últimos se elaboraron gráficos para observar el comportamiento de dichos parámetros en cada estación de muestreo y entre las épocas climáticas, además se construyeron perfiles de clorofila a con los valores obtenidos de las muestras a diferentes profundidades. Para observar las posibles agrupaciones entre estaciones superficiales se aplicó un análisis multivariado de clasificación, aplicando el algoritmo de distancia euclidiana con datos estandarizados (INPA, 1997).

RESULTADOS

La temperatura superficial del agua (Figura 2) presentó un promedio para la época seca de 27.75 ± 0.20 °C, oscilando entre 25-28.50 °C y para la época lluviosa el promedio aumentó a 28.80 ± 0.14 °C variando entre 25 y 30 °C. La salinidad (Figura 2) para el área en la época seca fue de 34.83 ± 0.44 con un mínimo de 32 y un máximo de 39, la mayor salinidad promedio por área se encontró en el oeste, mientras la menor se halló en las estaciones internas; en la época lluviosa la salinidad disminuyó, presentando un promedio de 32.49 ± 0.27 . La salinidad mínima fue de 28 y la máxima de 35, el área con menor salinidad nuevamente fue la interna y la mayor se encontró al norte. El pH (Figura 2) para la época seca presentó un valor de 8.78 ± 0.04 y fluctuó entre 8.54-9.02. En la época lluviosa el pH promedio fue de 8.48 ± 0.03 , oscilando entre 8.30-9.65. El mayor valor promedio en ambas épocas se encontró en las estaciones internas.

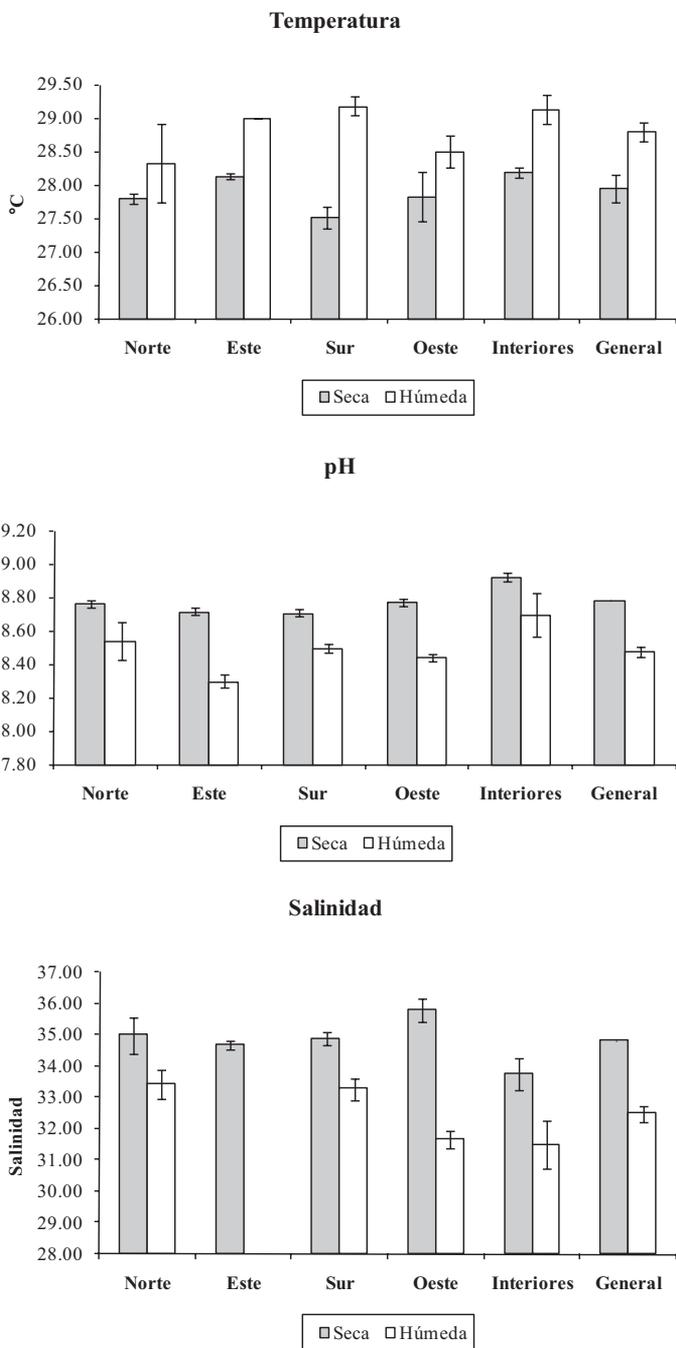


Figura 2. Valores promedio de temperatura, salinidad y pH del agua superficial para las diferentes áreas de muestreo en las islas de P y SC (I error estándar).

La clorofila *a* (Figura 3) presentó un promedio de $0.198 \pm 0.017 \mu\text{g/L}$ durante el período seco, fluctuando entre $0.148 \pm 0.026 \mu\text{g/L}$ en las estaciones internas y $0.303 \pm 0.021 \mu\text{g/L}$ en el oeste. Se observó la menor concentración en las estaciones interiores y del este, con valores de 0.023 y $0.057 \mu\text{g/L}$, respectivamente y las mayores en el sur y en el oeste, con concentraciones de 0.849 y $0.566 \mu\text{g/L}$, respectivamente. En la época lluviosa la concentración promedio fue de $0.693 \pm 0.149 \mu\text{g/L}$ y una variación media de $0.215 \pm 0.008 \mu\text{g/L}$ en el norte y $2.196 \pm 0.522 \mu\text{g/L}$ en el interior. Al igual que en la primera parte del año, se encontró la más baja concentración de clorofila *a* en la parte este ($0.094 \mu\text{g/L}$); sin embargo, la concentración más elevada fue registrada en las estaciones interiores con un valor máximo de $6.255 \mu\text{g/L}$.

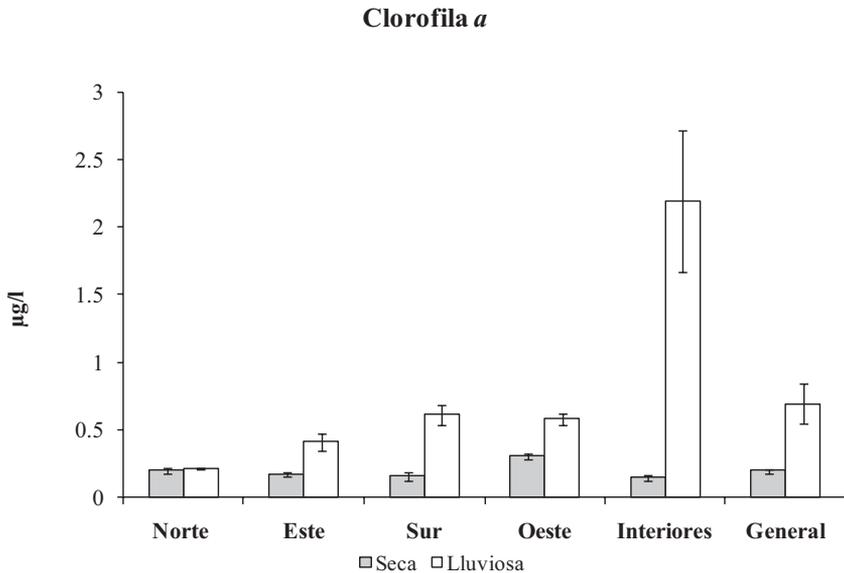


Figura 3. Valores promedio de concentración de clorofila *a* del agua superficial para las diferentes áreas de muestreo en las islas de P y SC (1 error estándar).

Los niveles de feopigmento *a* registrados para las áreas evaluadas y épocas climáticas siempre se encontraron por debajo del mínimo de detección del fluorómetro (i.e. $< 0.01 \mu\text{g/L}$). De esta forma, el cociente entre la clorofila *a*: feopigmento *a*. ($Chl\ a/Feo\ a$), registró valores muy superiores a uno, en ambas épocas climáticas del año.

En los perfiles de clorofila *a* (Figura 4) se observaron diferencias entre épocas climáticas, siendo la seca en la que se observó una menor producción de biomasa fitoplanctónica, oscilando entre $0.097 \pm 0.004 \mu\text{g/L}$ y $0.486 \pm 0.363 \mu\text{g/L}$. Se

detectaron fluctuaciones entre estratos analizados debido a la influencia atmosférica; los perfiles de la época lluviosa evidenciaron una mayor concentración con respecto a la época anterior y esta fluctuó entre $0.184 \pm 0.003 \mu\text{g/L}$ y $0.880 \pm 0.018 \mu\text{g/L}$ debido al aporte de nutrientes, también se evidencio en los estratos inferiores una mayor producción en la superficie.

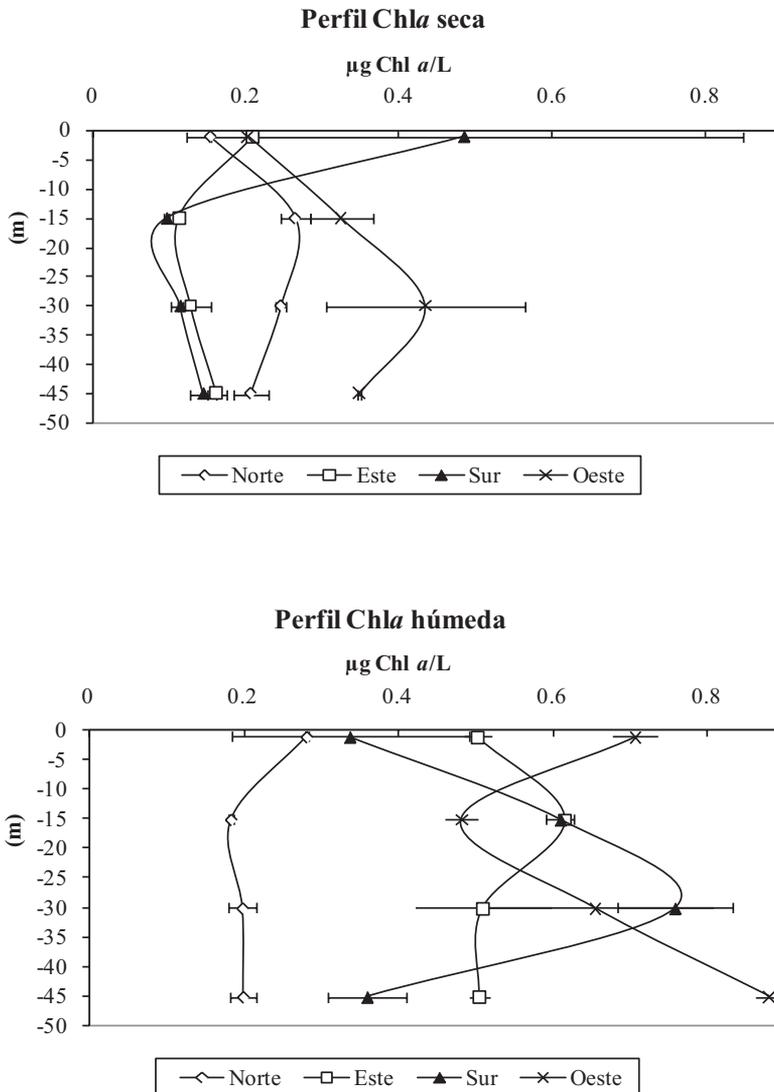


Figura 4. Perfiles de concentración de clorofila a en la diferentes zonas muestreadas alrededor de las islas de P y SC. (I error estándar).

El análisis de clasificación mostró la formación de cuatro grupos (Figura 5) en los que se observa, tomando como nivel crítico 3, un patrón donde los grandes grupos están formados por las estaciones muestreadas durante la época seca y el segundo por la mayoría de las estaciones de la lluviosa, incluyendo en este seis estaciones de la época seca, siendo estas las correspondientes a Old Town 1 y 2, Bottom House 1, San Felipe 1 y norte 3 y 7. Finalmente se forman dos grupos externos, en donde el primero es conformado por las estaciones tomadas en Old Town y el segundo por la primera estación de McBean Lagoon y las estaciones norte 1 y 5; aclarando que estas últimas pertenecen a la época de lluvias.

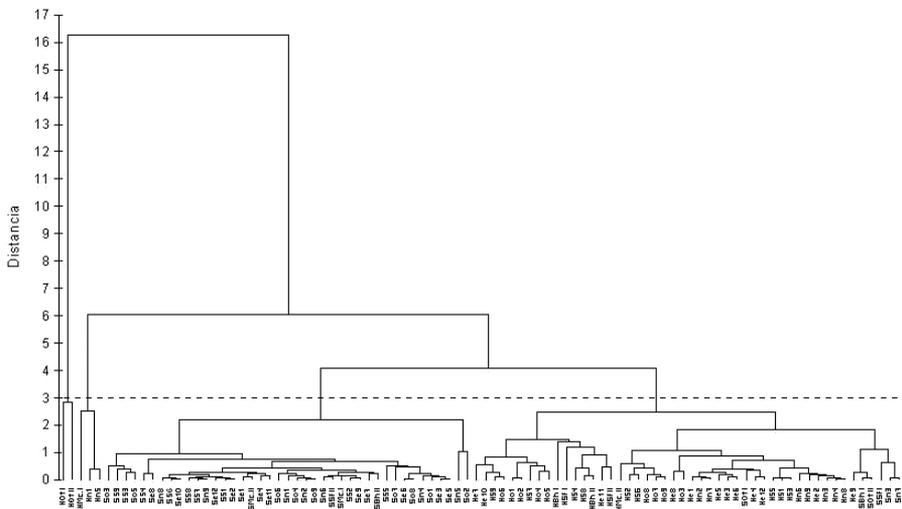


Figura 5. Análisis de clasificación de distancia euclidiana para todas las estaciones superficiales muestreadas en ambas épocas climáticas en las islas de P y SC. (S: época seca, H: época lluviosa, n: norte, e: este, s: sur, o: oeste, Mc.B: Mc.Bean Lagoon, OT: Old Town, BH: Bottom House y SF: San Felipe).

DISCUSIÓN

La temperatura osciló entre 25.0 y 28.5 °C durante la época seca, lo que concuerda con la temperatura promedio para el área (Tabla 1) durante la primera parte del año, cuando la influencia de los vientos alisios es mayor permitiendo la mezcla de la capa superficial, lo que disminuye la temperatura del agua. Para la segunda parte del año se presentó un valor máximo de 30 °C, típico para la época debido a la disminución de la influencia de los vientos alisios (Márquez, 1987); adicional a esto, la capa de mezcla aparece alrededor de 45-50 m de profundidad lo que evita la ascensión de aguas profundas contribuyendo con el aumento de temperatura en la superficie (Garay *et al.*, 1988).

La salinidad, al igual que la temperatura, tiene un comportamiento diferenciado en las épocas climáticas, observándose los mayores valores de salinidad durante la época seca (Tabla 1), debido a los pocos aportes de origen continental, a la baja pluviosidad (Márquez, 1987) y a la evaporación que ocurren durante el primer periodo del año. En el segundo período se observa una disminución por el aumento de la pluviosidad, la escorrentía y la influencia que para esta época climática pueden tener las ASC (Garay *et al.*, 1988), ya que este tipo de aportes (p. ej. Río Magdalena) se encuentra influenciado por fenómenos macroescalares (p. ej. El Niño), mesoescalares, regionales y locales, los cuales afectan su intensidad y extensión en el Caribe (Cañón y Santamaría, 2003). El pH presentó unos valores mínimos de 8.54 para la época seca y de 8.30 para la lluviosa, encontrándose dentro de los ámbitos esperados para el agua de mar (8.0-8.3), los valores máximos de pH se observaron en las estaciones internas, 9.02 en la primera parte del año y 9.65 en la segunda, siendo posibles porque en estas zonas se presenta una mayor actividad fitoplanctónica y macrovegetal que en el resto de las áreas muestreadas en la parte externa de las islas (Elhuyar, 1988; Margalef, 1991).

Tabla 1. Valores mínimos y máximos de temperatura superficial del agua (°C), salinidad y pH registrados por diferentes autores para el área de San Andrés (S), Providencia (P) y Santa Catalina (SC). Época seca (S), época lluviosa (LI).

AUTORES	REGIÓN	Temperatura (°C)	Salinidad	pH
Garay y Gutiérrez (1984)	S, P y SC			7.60-8.20
González (1987)	S, P y SC	26.85-29.45	35.60-36.20	
Téllez <i>et al.</i> (1988)	S, P y SC	30.20	34.41	
Elhuyar (1988)	P y SC	28.50	36.00	
Garay <i>et al.</i> (1988)	S, P y SC	26.90-29.10	35.60-36.25	
Molares <i>et al.</i> (2004)	S, P y SC	27.20-28.40		
Presente estudio	P y SC	S	25.00-28.50	33.00-39.00
		LI	25.00-30.00	28.00-35.00

La clorofila *a* presentó una concentración de 0.023-0.849 µg/L durante el primer periodo climático del año, valores dentro del ámbito normal de concentración registrados para el Gran Caribe (Tabla 2), que fluctúan entre 0.01-2.640 µg Chl *a*/L, mostrando así el comportamiento típico de aguas oceánicas oligotróficas y con baja producción primaria, debida a la poca influencia de las ASC como lo afirman Márquez y Herrera (1986), Garay *et al.* (1988) y Téllez *et al.* (1988). El pico observado en las estaciones del oeste es a causa de un fenómeno ambiental conocido localmente como brisa norte, el cual altera la capa superficial permitiendo quizás la

resuspensión de nutrientes que son aprovechados rápidamente por los individuos o la distribución del fitoplancton. Durante la segunda parte del año, se observó un incremento considerable teniendo como concentración mínima 0.094 µg/L, entrando dentro del ámbito registrado para el mar Caribe, pero en las estaciones internas, más exactamente en las que se encuentran ubicadas en Old Town, se observan concentraciones de 4.161 hasta 6.225 µg/L, siendo elevadas para el sistema de P y SC. Esto responde a la cercanía de las estaciones a la zona costera donde hay una mayor influencia de aguas de escorrentía que favorecen el incremento en la biomasa fitoplanctónica. Esto convierte este sistema oligotrófico en uno relativamente mesotrófico por la entrada de nutrientes, como lo han registrado Garay *et al.* (1988) y Webber y Roff (1996) para sistemas oceánicos como las aguas adyacentes a las islas de Jamaica y San Andrés. Esta variabilidad en las épocas climáticas en el fitoplancton y en las características oceanográficas es confirmada por el análisis de clasificación, el cual es análogo al encontrado para las islas de San Andrés, demostrando el comportamiento diferencial registrado por otros autores (González, 1987; Garay *et al.*, 1988).

Tabla 2. Concentraciones de clorofila *a* (µg/L) y feopigmento *a* (µg/L) registrados por diferentes autores en áreas oceánicas de la cuenca del Caribe. Época seca (S), época lluviosa (LI); P y SC: Islas de Providencia y Santa Catalina.

Autor	Región		Clorofila <i>a</i>	Feopigmento <i>a</i>
Harold <i>et al.</i> (1982) (E)	Caribe en general		0.053-0.154	0.052-0.109
Martinet y Saint (1982) (F)	Martinica		0.020-0.580	
Bianchi <i>et al.</i> (1995) (F y C)	Golfo de México		0.010-2.850	0.01-0.65
Webber y Roff (1996)	SE Jamaica		0.700-2.640	
Bode <i>et al.</i> (2001)	Canarias		0.040	
Orejarena <i>et al.</i> (2004)	Bancos de Salmedina		0.060-1.200	
Presente estudio	P y SC	S	0.057-0.849	< 0.01
		LI	0.094-6.225	

Las bajas concentraciones de feopigmento *a* en las diferentes áreas y períodos climáticos, con relación a las concentraciones de clorofila *a*, indican una comunidad fitoplanctónica joven y con una alta tasa de renovación debida a la baja disponibilidad de nutrientes en el sistema (Margalef, 1991). En términos generales, los perfiles de clorofila *a* demuestran que las bajas concentraciones de fitoplancton no solamente se presentan en las capas superficiales, sino incluso hasta cerca de los 50 m de profundidad. No obstante, las ligeras fluctuaciones a lo largo de la columna de agua responden principalmente al fenómeno atmosférico conocido en el sector

como brisa norte, que en la época seca causa una agitación de las aguas, ya sea homogeneizándolas o redistribuyendo las comunidades fitoplanctónicas a diferentes ámbitos de profundidad. Éste tipo de anomalías son descritas como ondas orientales que traen consigo tormentas, lluvias y vientos que afectan la estabilidad de la capa superficial del agua (Garay *et al.*, 1988).

En la época de lluvias, la tendencia de distribución vertical de la clorofila *a* muestra que la concentración aumenta con la profundidad. El debilitamiento de los vientos Alisios favorece la estratificación de la columna de agua, llevando generalmente a que la termoclina permanente se profundice y haya un agotamiento de nutrientes en las capas superficiales. Esto causa que la concentración de la comunidad autotrófica sea menor en las primeras capas de agua y tiendan a aumentar a medida que se profundiza en la capa de mezcla, en respuesta al encuentro de nuevos nutrientes atrapados dentro de la estratificación de la columna de agua (Fugg y Thake, 1987).

En síntesis, la biomasa fitoplanctónica presente en aguas costeras y oceánicas alrededor de P y SC corresponde a concentraciones típicas de sistemas oligotróficos. Su variabilidad temporal responde a las estaciones climáticas que influyen en la región, siendo mayores durante la estación de lluvias y con concentraciones elevadas cerca de la zona costera de P y SC, lo cual, en un momento dado, podría estar indicando una fertilización superior a los niveles de nutrientes que caracterizan a sistemas oligotróficos; no obstante, la presente investigación no permite concluir globalmente al respecto, por la ausencia de datos de concentraciones de nutrientes durante la realización del estudio.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo es parte de las tesis de pregrado de Mauricio Campos-González y Julián Vargas Castellanos. Los autores desean agradecer al Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología-Colciencias (proyecto código 116109 - 16817) y a la Universidad Nacional de Colombia, Sede Caribe-Instituto de Estudios Caribeños, por el apoyo financiero y por su colaboración tanto técnica como académica, especialmente a la directora del proyecto Adriana Santos-Martínez, al Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives de Andrés”-INVEMAR y a la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano Sede Santa Marta, por la colaboración prestada en cuanto a la infraestructura y equipo técnico facilitado para el procesamiento de las muestras de pigmentos fotosintéticos. Al grupo de trabajo del proyecto por la asistencia, colaboración y apoyo incondicional en el trabajo de campo, en el desarrollo de la investigación y elaboración de este artículo.

BIBLIOGRAFÍA

- Bianchi, T., C. Lambert y D. Biggs. 1995. Distribution of chlorophyll *a* and phaeopigments in the northwestern gulf of Mexico. A Comparison between fluorometric and high performance liquid chromatography measurements. *Bull. Mar. Sci.*, 50 (1): 25-32.
- Bode, A., S. Barquero, M. Varela, J. Braun y D. de Armas. 2001. Pelagic bacteria and phytoplankton in oceanic waters near the Canary Islands in summer. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 209: 1-17.
- Cañón, M. y E. Santamaría. 2003. Influencia de la pluma del río Magdalena en el Caribe colombiano. *Bol. Cient. CIOH*, 21: 66-84.
- De los Ríos, C. y W. Cabrera. 1986. San Andrés y Providencia. Aspectos Geográficos. IGAC, Bogotá. 156 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. A. Zapata y S. Zea. 2000. Áreas coralinas de Colombia. INVEMAR, Santa Marta. 176 p.
- Elhuyar, M. 1988. Estudio geomorfológico y sedimentológico del complejo carbonatado de las islas de Providencia y Santa Catalina. *Bol. Cient. CIOH*, 8: 35-70.
- Friedlander, A., J. Sladek, J. Sánchez, R. Appeldoorn, P. Usseglio, C. McCormick, S. Bejarano y A. Mitchell-Chu. 2003. Designing effective marine protected areas in Seaflower biosphere reserve, Colombia, based on biological and sociological information. *Cons. Biol.*, 17: 1769-1784.
- Fugg, G. y B. Thake. 1987. Algal cultures and phytoplankton ecology. The University of Wisconsin, Madison. 269 p.
- Garay, J. y H. Gutiérrez. 1984. Contribución al estudio oceanográfico químico del archipiélago de San Andrés y Providencia. *Bol. Cient. CIOH*, 5: 25-59.
- Garay, J., F. Castillo, C. Andrade, J. Aguilera, L. Niño, M. De la Pava, W. López y G. Márquez. 1988. Estudio oceanográfico del área insular y oceánica del Caribe colombiano-Archipiélago de San Andrés y Providencia y cayos vecinos. *Bol. Cient. CIOH*, 9: 3-73.
- Garay, J., G. Ramírez, J. Betancourt, B. Marín, B. Cadavid, L. Panizzo, L. Lesmes, J. Sánchez, H. Lozano y A. Franco. 2003. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos: aguas, sedimentos y organismos. INVEMAR, Santa Marta. 177 p.
- Geister, J. y J. Díaz. A. 1997. Field guide to the oceanic barrier reefs and atolls of the southwestern Caribbean (Archipiélago of San Andres and Providencia, Colombia). *Proc. 8th Int Coral Reef Symp.*, 1: 235-262.
- González, E. 1987. Oceanografía física y descriptiva del Archipiélago de San Andrés y Providencia con base en el análisis de los cruceros Océano VI al IX. *Bol. Cient. CIOH*, 7: 73-100.
- Harold, E., H. Marshall y J. Solder. 1982. Pelagic phytoplankton in the Caribbean Sea. *Bull. Mar. Sci.*, 32 (1): 354-365.
- INPA. 1997. Métodos estadísticos aplicados a la investigación biológica. Manual del curso de capacitación. *Rev. Div. Cient. y Tecn. INPA*, 16, 58 p.
- Margalef, R. 1991. *Ecología*. Omega, Barcelona. 951 p.
- Márquez, G. 1987. Las islas de Providencia y Santa Catalina, ecología regional. Fondo FEN-Univ. Nacional de Colombia, Bogotá. 110 p.

- Márquez, G. y S. Cárdenas. 1996. Ecosistemas estratégicos y otros estudios de ecología ambiental. Fondo FEN, Bogotá. 211 p.
- Márquez, G. y M. Herrera. 1986. Estudio de la biomasa fitoplanctónica y su distribución geográfica durante el crucero Océano área I: Archipiélago levantamiento Providencia en el Caribe colombiano. Informe final, Univ. Nacional de Colombia, Bogotá. 153 p.
- Martinet, J. y C. Saint. 1982. Primary production of Atlantic waters of Martinique coastal. *Carib. J. Sci.*, 18: 103-105.
- Molares, R., T. Vanegas, J. Bustamante y A. Andrade. 2004. Aspectos oceanográficos de las aguas sobre la Depresión Providencia en mayo de 2004. *Bol. Cient. CIOH*, 22: 11-25.
- Orejarena, J., J. Domínguez, C. Ricaurte, G. Mayo, A. Andrade, H. Ospina y W. Castro. 2004. Variaciones de la concentración de la clorofila *a* y su relación con los parámetros fisicoquímicos medidos en los bancos de Salmedina durante 2003-2004, Caribe colombiano. *Bol. Cient. CIOH*, 22: 56-63.
- Pérez, R., C. Gil, S. Loza y M. Lugioyo. 2009. Variación espacio-temporal de la densidad del microfitoplancton y clorofila *a* en las aguas oceánicas del sur de Cuba. *Rev. Invest. Mar.*, 30 (1): 21-35.
- Santos-Martínez, A. 2004. Revalidación de los caladeros de pesca en las islas de Providencia y Santa Catalina, Caribe colombiano. Univ. Nacional de Colombia-Colciencias, San Andrés. 17 p.
- Téllez, C., G. Márquez y F. Castillo. 1988. Fitoplancton y ecología pelágica en el archipiélago de San Andrés y Providencia: Crucero Océano VI en el Caribe colombiano. *Bol. Cient. CIOH*, 8: 3-26.
- Webber, D. y J. Roff. 1996. Influence of Kingston harbor on the phytoplankton community of the nearshore Hellshire coast, southeast Jamaica. *Bull. Mar. Sci.*, 59: 245-258.

FECHA DE RECEPCIÓN: 20/01/2010

FECHA DE ACEPTACIÓN: 01/09/2011