

Cuantificación de la clorofila-*a* fitoplanctónica en bahías seleccionadas de Cuba

QUANTIFICATION OF PHYTOPLANKTONIC CHLOROPHYLL-A IN SELECTED BAYS OF CUBA

Miriam MARTÍNEZ VARONA, Yamiris GÓMEZ D'ANGELO, José Manuel FERNÁNDEZ, Adisbel PÉREZ CABRERA, Jesús BELTRÁN GONZÁLEZ, Marlén PÉREZ HERNÁNDEZ

Centro de Investigación y Manejo Ambiental del Transporte (Cimab). Carretera del Cristo #3 Esquina Tiscornia, Casablanca, Regla, Cuba. Tel.: 77937051al 58 ext 254. Correo-e: miriam@cimab.transnet.cu

RESUMEN

En el marco del proyecto ejecutado por el CIMAB sobre el estado ambiental del espejo de agua de las principales bahías de Cuba, evaluamos la concentración de clorofila-A fitoplanctónica, un indicador importante de contaminación. Las bahías incluidas en el estudio fueron: bahía de La Habana, bahía del Mariel y bahía Cárdenas-Varadero, ubicadas en el litoral norte del país; bahía de Cienfuegos, bahía de Santiago de Cuba y bahía de Guantánamo, ubicadas en el litoral sur. El estudio se realizó en los dos periodos climáticos, lluvioso y poco lluvioso, utilizando la extracción con etanol. Los valores obtenidos de concentración de clorofila-a en la mayoría de las bahías estudiadas estuvo por encima de 1.1 mg/m³ (concentración límite, propuesta por Margalef, a partir de la cual se considera la presencia un ambiente eutrófico) excepto en las bahías de Cárdenas-Varadero y Cienfuegos. Por otro lado, las mayores concentraciones de clorofila-a se obtuvieron en el periodo lluvioso, a excepción de las bahías de Santiago de Cuba y Guantánamo. Finalmente, el valor promedio de concentración de clorofila-a más elevado se obtuvo en la bahía de La Habana.

Palabras clave: Ecosistemas, fitoplancton, clorofila.

ABSTRACT

As part of the project executed at the CIMAB about the environmental state of the water mirror of the main Bays of Cuba, we evaluated the concentration of chlorophyll-*a*, an important indicator of contamination. The Bays included in this study were: Bay of Havana, Bay of Mariel and Bay of Cárdenas-Varadero, which are located to the north coast of de country; Bay of Cienfuegos, Bay of Santiago de Cuba, and Bay of Guantánamo, which are located to the south coast. The samples were taken in the two climatic periods, rainy and little rainy, using extraction with ethanol. As results, we found that the averages value obtained in almost all the Bays were above 1.1mg/m³ (limit concentration, proposed by Margalef, from which is considered the presence of a eutrophic environment), except in Bay of Cárdenas-Varadero and Bay of Cienfuegos. The highest values of concentration were obtained in rainy period, except in the Bays of Santiago de Cuba and Guantánamo. The highest average value was obtained in the Bay of Havana.

Keywords: Ecosystems, phytoplankton, chlorophyll.

INTRODUCCIÓN

La calidad de los recursos hídricos se ve afectada en diferentes grados en muchas cuencas del país. Las

materias orgánicas alteran el equilibrio químico natural del agua y en consecuencia la composición del fitoplancton que es una comunidad de microorganismos en su mayoría fotosintéticos que componen la

base de un ecosistema acuático como productor primario además de ser el principal recurso directo o indirecto nutricional para todos los organismos marinos y pesquerías.¹

Un elemento muy importante para mantener el equilibrio de un ecosistema acuático es el fitoplancton, dentro de su composición se encuentra la clorofila- *a* como resultado de su fotosíntesis, que es indicadora de la productividad primaria en cuanto a la cantidad de fitoplancton presente en un cuerpo de agua. Para su medición, se cuantifica la concentración de clorofila- *a*, expresada como los pigmentos fotosintéticos por unidad de volumen.²

La clorofila es una molécula compleja que posee un átomo de magnesio en el centro mantenido por un anillo de porfirinas. Una molécula de clorofila se compone de una cabeza y una cola. La cabeza contiene cuatro anillos de carbono/nitrógeno unidos formando un anillo mayor, en el centro de este anillo hay un átomo de magnesio y tiene un pigmento color verde con estructuras policíclicas planas.²

La clorofila-*a* es el pigmento fotosintético dominante en microalgas (fitoplancton), algas y cianobacterias por lo que es una medida útil para estimar la biomasa de estos organismos fotosintéticos en cualquier cuerpo de agua, además de ser un indicador biológico de la contaminación en medio ambiente acuáticos.³

La concentración de pigmentos fotosintéticos se utiliza ampliamente para calcular la biomasa del fitoplancton. Todas las plantas verdes contienen clorofila- *a*, que constituye aproximadamente de 1 al 2 por 100 del peso seco de las algas planctónicas. Otros pigmentos presentes en el fitoplancton incluyen a las clorofilas *b* y *c*, xantofilas, ficobilinas y carotenos. Los productos importantes de degradación de la clorofila encontrados en el medio acuático son los clofolidos, feoforbidos y las feofitinas.⁴

La concentración de clorofila-*a*, es el parámetro bioquímico de mayor importancia medido en investigaciones marinas. Esto debido a su carácter indicador de la biomasa del fitoplancton de los océanos y aguas dulces.⁵

Objetivo

Cuantificar la clorofila-*a* presente en el agua de las bahías seleccionadas según su ubicación norte o sur del país, utilizando la extracción con etanol.

Objetivos específicos:

- Determinar los niveles de clorofila *a* presentes en las bahías seleccionadas según su ubicación: ubicadas en la parte norte de Cuba: bahía Mariel, bahía Cárdenas-Varadero y bahía Habana.

- Determinar los niveles de clorofila-*a* presentes en las bahías seleccionadas ubicadas en la parte sur de Cuba: bahía Santiago de Cuba, bahía Cienfuegos y bahía de Guantánamo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para el siguiente estudio dividimos las Bahías según su ubicación en Costa Norte y Sur (Figura 1). Las costas de Cuba presentan un relieve peculiar, a partir de la interacción de los diferentes procesos que han intervenido en la configuración del litoral costero, lo que ha permitido el desarrollo de una variada y rica morfología litoral que convierte a la línea costera en sinuosa e irregular, con 5 746 km de extensión; la parte más extensa se localiza en la costa norte: 3 209 km.

- Costa norte (de oeste a este): formado principalmente por litorales bajos y generalmente cenagosos, en la zona de Matanzas y Guantánamo, predomina la terraza de seboruco.

- Costa sur (de este a oeste): en este primer tramo se originan las más importantes terrazas marinas emergidas de Cuba, bordeadas a veces por el seboruco costero o por extensísimas playas de cantos rodados, en la provincia de Sancti Spíritus, es una costa baja y pantanosa, la provincia de Matanzas está formada principalmente por el seboruco erizado de diente de perro y ahuecado por numerosas casimbas, en la provincia de Pinar del Río son costa baja y frecuentemente cenagosa bordeadas por el seboruco y por altos acantilados y acogedoras playas.⁶

De las 6 bahías estudiadas, las mencionadas abajo son de bolsa, que deben su origen a movimientos de

ascenso y descenso de la línea litoral, en combinaciones con las formaciones coralinas y la acción erosiva de los ríos. Estas poseen un estrecho y profundo canal de entrada y un interior amplio:

- La Habana
- Santiago de Cuba
- Mariel
- Guantánamo
- Cienfuegos



Figura 1. Ubicación de las bahías.

Se realizaron 2 muestreos en las dos épocas del año 2017, período lluvioso y período poco lluvioso, en todas las bahías estudiadas.

Bahías	Fecha de muestreo	
	Periodo poco lluvioso	Periodo lluvioso
	Habana	abril
Mariel	octubre	mayo
Cárdena-Varadero	noviembre	septiembre
Cienfuegos	febrero	julio
Santiago de Cuba	octubre	julio
Guantánamo	octubre	julio

La toma de muestra se realizó de acuerdo a la instrucción I-06: "Indicaciones específicas para la toma, transportación y conservación de muestras", implementado en el Sistema de Gestión de la Calidad del Laboratorio de Ensayos del Cimab y la norma internacional ISO 5667-9: 1994: "Sampling - Guidance on sampling from marine waters". Las muestras fueron tomadas utilizando una botella tipo "Van Dorn" de 2 litros de capacidad.⁷

Para la determinación de clorofila-*a* fitoplanctónica se tomaron muestras de agua superficial de 1 litro, según ISO 10260 (1992).⁸

Los resultados analíticos fueron comparados con estudios anteriores y con otros criterios internacionales.

El procesamiento estadístico de los datos se realizó por los sistemas Excel y posteriormente procesados mediante el sistema SPSS versión 17 (Statistical Package for Social Sciences) (SPSS, 2002).⁹ La comparación entre los periodos lluvioso y poco lluvioso se realizó mediante la comparación de medias para muestras relacionadas, para comparar las bahías de la costa norte y sur se utilizó la prueba de U de Mann-Whitney, para muestras independientes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Bahías Costa Norte

En la Figura 2 se muestran las concentraciones de clorofila-*a* fitoplanctónica de la bahía de La Habana, de las estaciones en los dos periodos hidrológicos y sus valores medios.

Se aprecia que todas las concentraciones de clorofila-*a* fitoplanctónica así como sus valores medios son muy superiores a 1.1 mg m⁻³. Los valores medios por estaciones oscilaron entre 22.55 – 52.07 mg m⁻³. La cifra más elevada se obtuvo en la estación ubicada en la Ensenada de Atarés (87.56 mg m⁻³), similar resultado se obtuvo en el estudio realizado en el año 2016 (Beltrán et al., 2017).¹⁰ Según los valores obtenidos y lo planteado por Margalef (1991),¹¹ se considera la existencia de un ambiente eutrófico en las

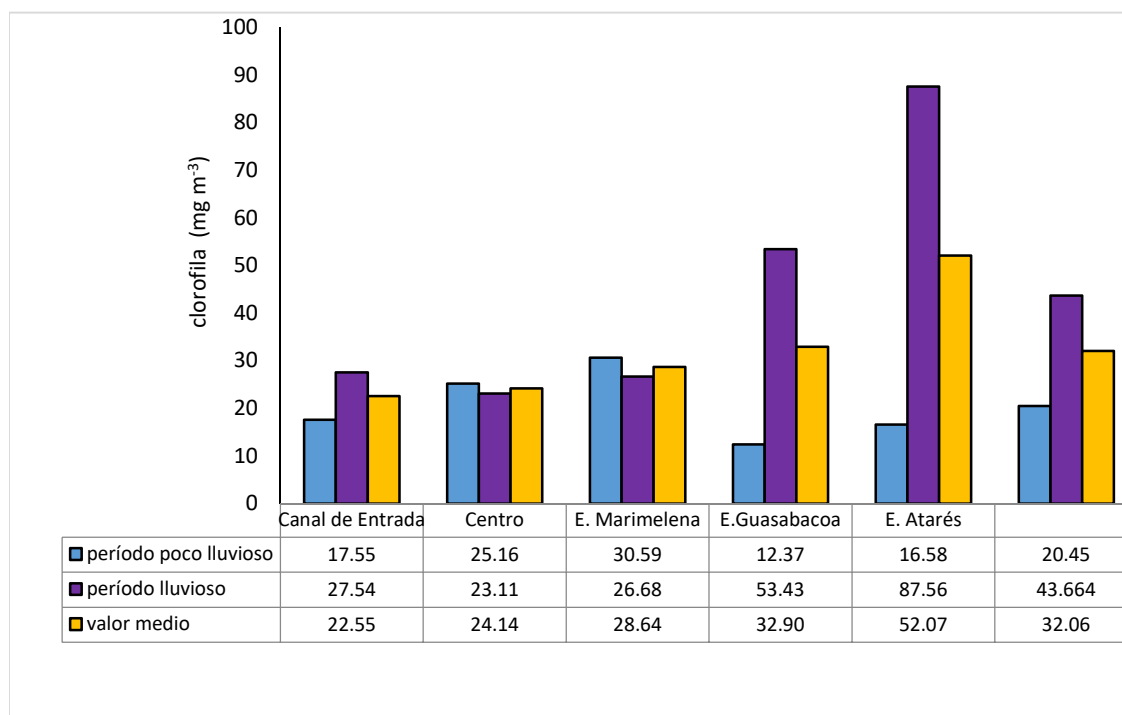


Figura 2. Concentraciones de clorofila-*a* fitoplanctónica por estaciones de muestreo en ambos periodos hidrológicos estudiados y sus valores medios en la bahía de La Habana.

aguas de la Bahía de Habana, en los dos muestreos realizados en el 2017.

valor propuesto por Margalef. El valor medio obtenido en este período (3.39 mg m^{-3}) fue superior al valor

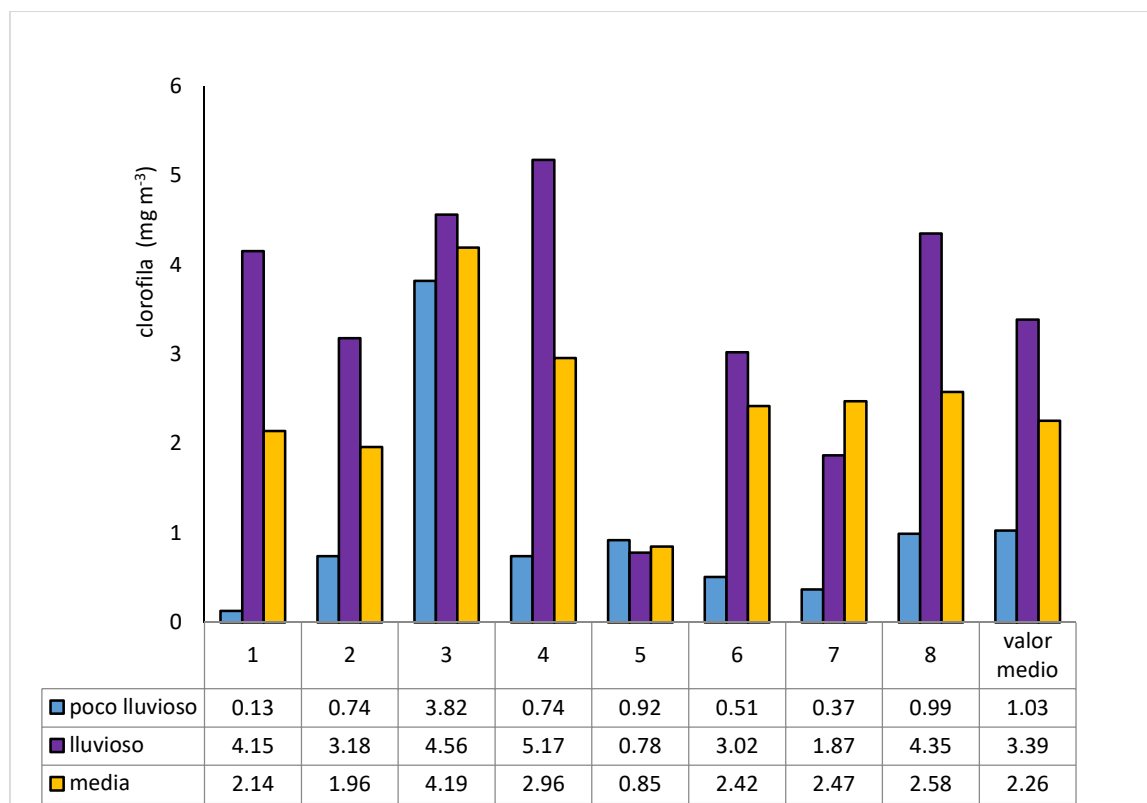


Figura 3. Concentraciones de clorofila-a fitoplanctónica por estaciones de muestreo en ambos períodos hidrológicos estudiados y sus valores medios en la bahía de Mariel.

En el mes de septiembre, excepto en las estaciones ubicadas en el Centro y la Ensenada de Marimelena, se aprecia un incremento en las concentraciones de este indicador biológico. Estos resultados pudieran estar asociados a que ha tenido lugar un florecimiento del fitoplancton, debido fundamentalmente a la presencia de los nutrientes esenciales en todas las estaciones de la bahía.

Se muestra en la Figura 3 las concentraciones de clorofila-a fitoplanctónica de la bahía Mariel por estaciones en los dos períodos hidrológicos y sus valores medios.

En todas las estaciones, excepto la estación 3 durante el período poco lluvioso, las concentraciones puntuales de clorofila-a, así como el valor medio de la bahía (1.02 mg m^{-3}) fueron inferiores al valor límite propuesto por Margalef (1991): 1.1 mg m^{-3} , lo que refleja la no presencia de un ambiente eutrófico. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Ruiz, Beltrán y Gómez en 2005 y 2010,^{12,13} donde los valores más elevados lo obtuvieron en la estación 3.

Sin embargo en el período lluvioso se aprecia un incremento de los valores de clorofila-a fitoplanctónica en todas las estaciones, solamente en la estación 5 la concentración de clorofila-a, estuvo por debajo del

límite propuesto por Margalef (1991): 1.1 mg m^{-3} (como se aprecia en la Figura 3),³ clasificando las aguas como eutróficas en todas las estaciones, excepto la estación 8.

La Figura 4 muestra las concentraciones de clorofila-a fitoplanctónica en las estaciones de la bahía Cárdenas-Varadero en los dos períodos hidrológicos y sus valores medios. En esta figura se observa que las concentraciones en el período lluvioso no fueron elevadas en la mayoría de las estaciones de muestreo y correspondieron a aguas mesotróficas (medianamente enriquecidas) de acuerdo con el criterio de Margalef (1991). Sólo en las estaciones B1 (2.24 mg m^{-3}) y PM (2.14 mg m^{-3}) el nivel de clorofila fue indicador de aguas ligeramente eutróficas (enriquecidas por nutrientes en exceso).

Sin embargo en el período poco lluvioso con excepción de las estaciones BE, B2, B3, PM y CC, el resto de la estaciones las concentraciones estuvieron por debajo del límite propuesto por Margalef de 1.1 mg m^{-3} .

La estación B2 coincide con la salida hacia la bahía del canal de la Isla del Sur, donde existen problemas

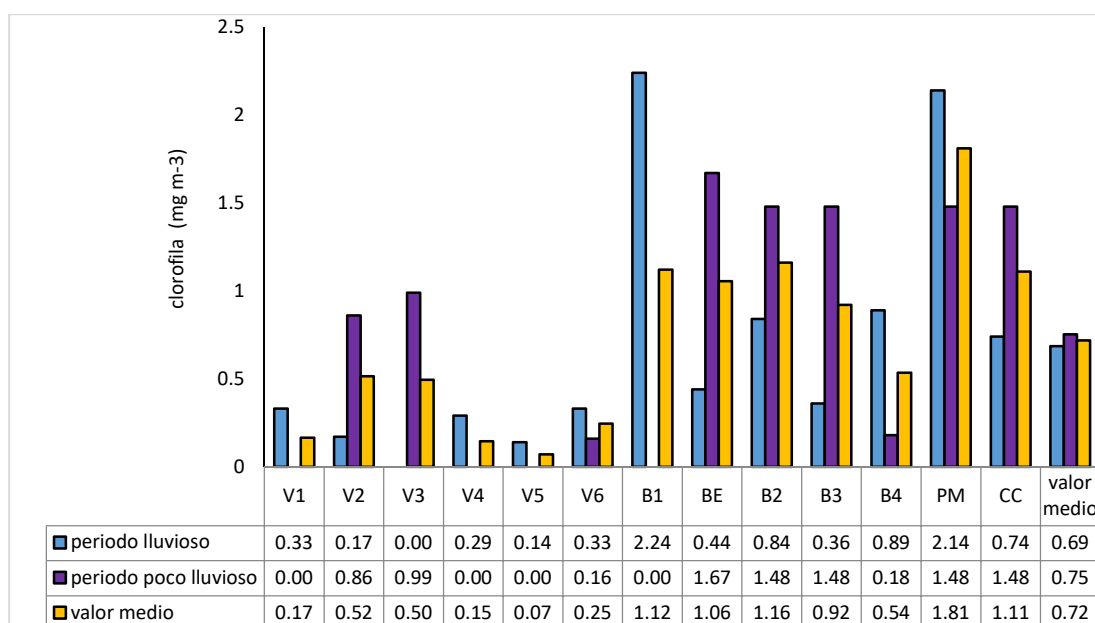


Figura 4. Concentraciones de clorofila-a fitoplanctónica por estaciones de muestreo en ambos períodos hidrológicos estudiados y sus valores medios en Cárdenas-Varadero.

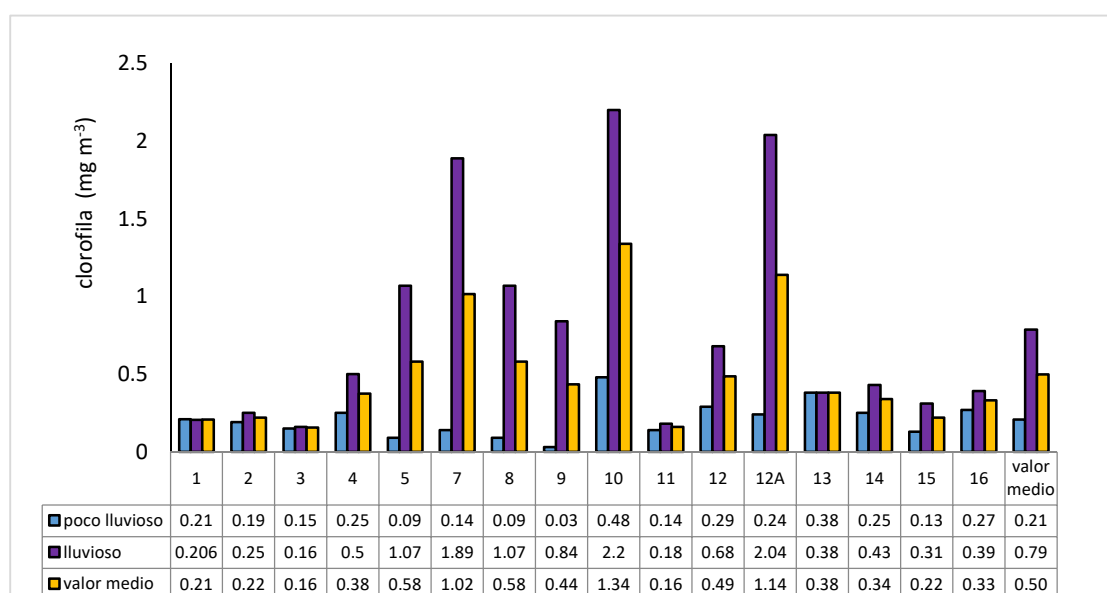


Figura 5. Concentraciones de clorofila-a fitoplanctónica en la bahía de Cienfuegos por estaciones de muestreo en ambos períodos hidrológicos estudiados y sus valores medios.

de contaminación orgánica que inducen los florecimientos del fitoplancton y, por ende, altos niveles de clorofila.¹⁴

Bahías Costa Sur

La Figura 6 muestra las concentraciones de clorofila-a fitoplanctónica de la bahía Cienfuegos en los dos períodos hidrológicos y sus valores medios. Muestra que en el período lluvioso, ha ocurrido un

incremento de las concentraciones de clorofila-a fitoplanctónica, alcanzando valores superiores a 1.1 mg m⁻³, en las tres de las estaciones monitoreadas: 7 (desembocadura del río Damují), 10 (desembocadura del Arroyo Inglés), 12A (Laguna del Cura). Las concentraciones cuantificadas en las estaciones 5 (Calicito) y 8 (desembocadura del río Salado), no superan el valor límite propuesto por Margalef (1974);

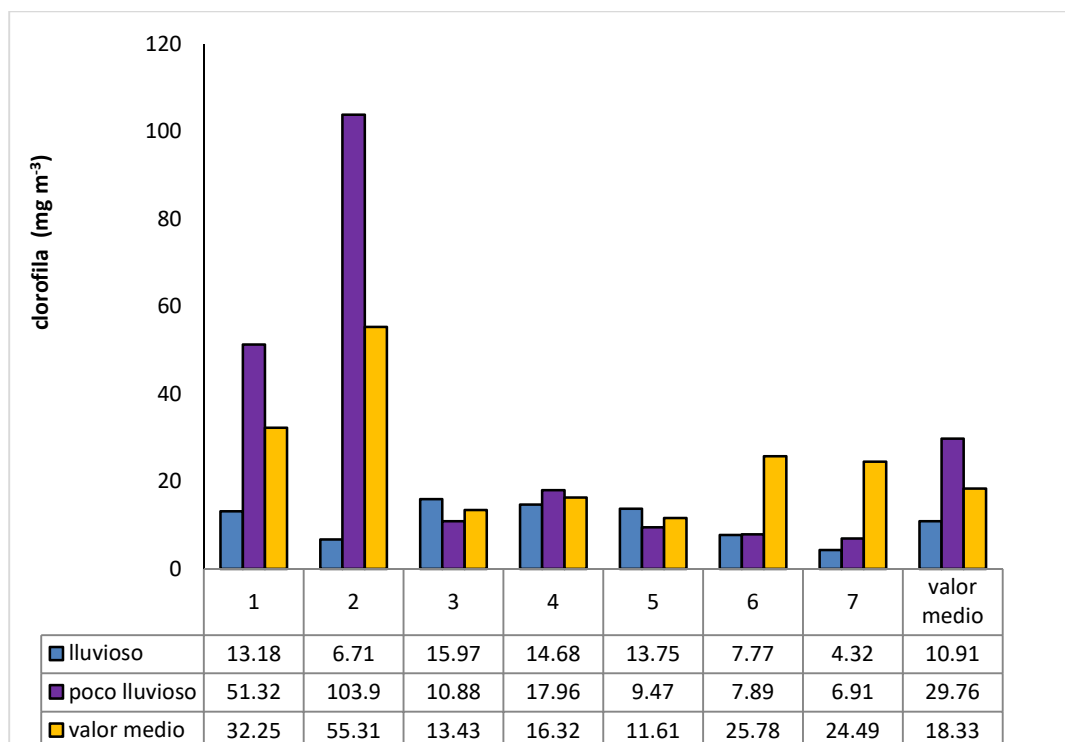


Figura 6. Concentraciones de clorofila-*a* fitoplanctónica por estaciones de muestreo en ambos períodos hidrológicos estudiados y sus valores medios en la bahía de Santiago de Cuba.

sin embargo, se encuentran muy cercanos a éste, siendo el mismo de 1.07 mg m^{-3} , en ambos casos.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los dos períodos de muestreo, se evidencia que, en las aguas superficiales de algunas de las estaciones evaluadas en la bahía de Cienfuegos, ha ocurrido un cambio del estado trófico, ya que en el período poco lluvioso, las concentraciones de clorofila-*a* fitoplanctónica, en todas las estaciones, fueron inferiores al límite a partir del cual las aguas marinas se clasifican como eutróficas (1.1 mg m^{-3}) y en la etapa lluviosa, las aguas se clasifican como eutróficas en tres (3) de las dieciséis (16) estaciones monitoreadas y en dos (2) estaciones.

Los valores registrados en este 2017, están muy cercanos a 1.1 mg m^{-3} . La comparación entre los valores medios de ambos períodos estacionales, muestran un incremento del mismo en el período lluvioso, aunque dicho valor no supera a 1.1 mg m^{-3} .

El aumento de las concentraciones de clorofila-*a* fitoplanctónica en el período lluvioso, puede estar asociado al incremento de las concentraciones de materia orgánica que ocurrió en esa etapa, en la mayoría de las estaciones, lo cual está avalado por los altos valores de DBO_5 cuantificados en ese período, que permitieron clasificar el agua *calidad mala* en casi todas las estaciones.

En la Figura 6 se muestran las concentraciones de clorofila-*a* fitoplanctónica de la bahía Santiago de Cuba en las estaciones en los dos períodos hidrológicos y sus valores medios.

Las concentraciones de clorofila-*a* fitoplanctónica en las siete (7) estaciones y en los dos períodos hidrológicos evaluados en la bahía de Santiago de Cuba, son indicativas de la presencia de un ambiente eutrófico, ya que los valores cuantificados en todas las estaciones, son superiores a 1.1 mg m^{-3} (concentración límite propuesta por Margalef (1991), a partir de la cual se considera la presencia de un ambiente eutrófico).

Estos resultados están asociados al crecimiento del fitoplancton, lo cual está relacionado a la presencia compuestos del nitrógeno y fósforo en las aguas superficiales de la bahía de Santiago de Cuba, los cuales constituyen nutrientes esenciales para el desarrollo del fitoplancton (Sosa, Gaxiola, Olivos y Silva, 2013).¹⁵ Las concentraciones de amonio, fosfato y fósforo total cuantificadas indistintamente en las estaciones monitoreadas avalan el planteamiento anterior.

Se destacan, en el período poco lluvioso, las elevadas concentraciones del indicador biológico en las estaciones 1 (frente a la boca del río Yarayó): 51.32 mg m^{-3} y sobre todo en la estación 2 (Ensenada de Mírdero, reserva ecológica): 103.9 mg m^{-3} . Esos valores según la escala propuesta por Contreras, Castañeda y García (1994) para cuerpos de agua costeros altamente productivos,¹⁶ clasifican las aguas de la estación 1 como α Eutrófico y β Eutrófico para la estación 2, ambas clasificaciones, según estos autores, se consideran índices tróficos representativos de aguas muy eutrofizadas.

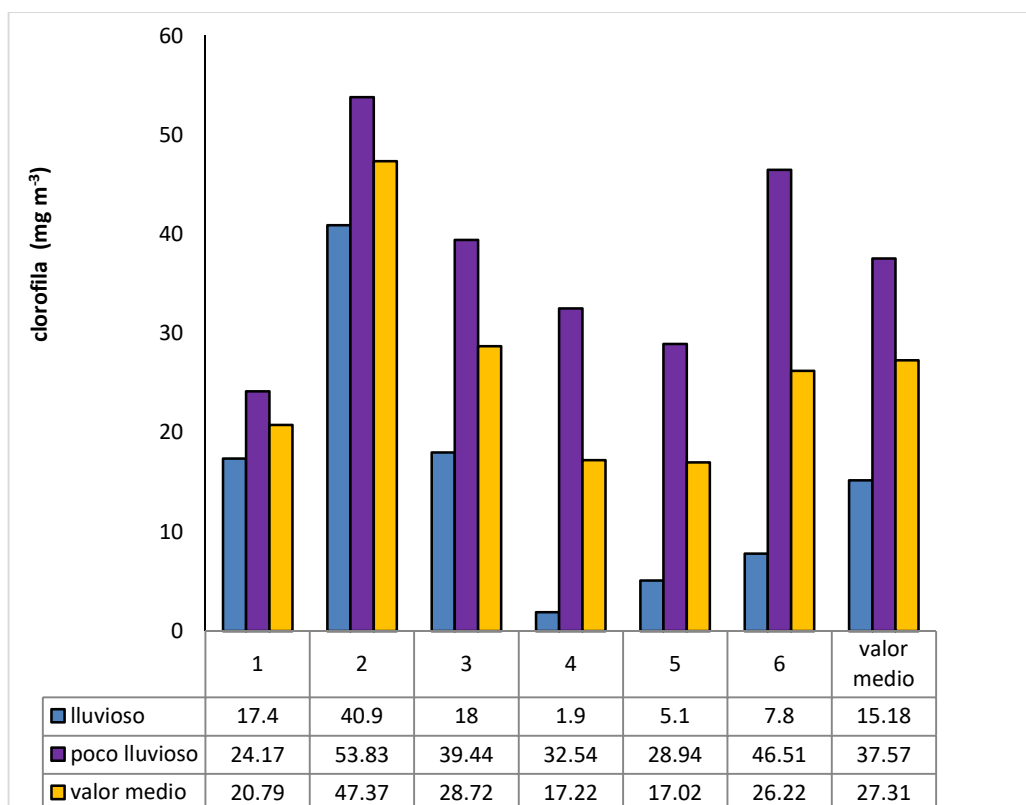


Figura 7. Concentraciones de clorofila-a fitoplanctónica por estaciones de muestreo en ambos períodos hidrológicos estudiados y sus valores medios en Guantánamo.

La Figura 7 muestra las concentraciones de clorofila-a fitoplanctónica en las 6 estaciones de la bahía de Guantánamo en los dos períodos hidrológicos y sus valores medios.

Se puede apreciar que todos los valores de clorofila-a fitoplanctónica en ambos períodos hidrológicos, así como su valor medio (15.18 mg m^{-3}) en el período lluvioso y 37.57 mg m^{-3} en el poco lluvioso fueron superiores a 1.1 mg m^{-3} , que es el límite que propone Margalef (1991) para clasificar las aguas marinas como eutróficas, consideración que establece la llamada contaminación secundaria, por presencia desmedida de materia orgánica y nutrientes, cuando esta eutrofización del agua es antrópica -eutrofización cultural, según propios criterios de Margalef.

Los valores más elevados se obtuvieron en la estación 2 en ambos periodos estacionales, con un máximo de 40.9 y 53.83 mg m^{-3} , respectivamente. En los estudios precedente en los años 2013 y 2016, las concentraciones mayores de clorofila-a fitoplanctónica se obtuvieron en la estación 3 correspondiente al Lóbulo oeste de la Ensenada de Joa (Ruiz et al., 2013 y 2016).^{17,18}

Los resultados obtenidos fueron comparados con el estudio realizado por Campos y col. 2011,¹⁹ donde se aprecian resultados similares a los nuestro en tres ba-

hías de las 6 estudiadas con relación al período lluvioso donde se obtuvieron las concentraciones mayores de clorofila-a fitoplanctónica en (bahía Habana, Mariel y Cienfuegos)

Al realizar el análisis estadístico para ver si existía diferencia en los resultados obtenidos en las bahías en los dos periodos estudiados utilizando la prueba para muestras relacionadas, solamente en las bahías de Mariel, Cienfuegos y Guantánamo existía diferencia significativa entre los dos periodos $p < 0.05$, sin embargo en las bahías de La Habana, Cárdenas-Varadero y Santiago de Cuba no hubo diferencia significativa ($p > 0.05$) entre los dos periodos estudiados.

Al analizar si existía diferencia entre las bahías de la costa norte y sur se obtuvo que no existía diferencia significativa en ninguno de los dos periodos estudios entre las costas ($p > 0.05$).

Es importante señalar que entre los límites normativos existentes internacionalmente, los límites australianos de clorofila-a para aguas recreativas el valor permitido es de $2-10 \text{ mg/m}^3$ de clorofila-a equivalente a 15000 cel/mL .²

CONCLUSIONES

Las concentraciones de clorofila-a fitoplanctónica en todas las estaciones de la bahía de La Habana son

propias de aguas eutróficas. En el 2017 se aprecia una disminución del valor medio anual de clorofila-*a* fitoplanctónica, con relación al valor medio obtenido en el 2016.

En la bahía de Mariel en el período lluvioso se aprecia un incremento de los valores de clorofila-*a* fitoplanctónica en las aguas de la mayoría de las estaciones monitoreadas, clasificándolas, en siete de las ocho estaciones monitoreadas, como aguas marinas eutróficas. No existen diferencias notables entre los valores medios del indicador biológico del período lluvioso de los años 2010 y este 2017.

Se obtuvieron valores de clorofila-*a* fitoplanctónica superior al valor propuesto por Margalef en el período poco lluvioso solamente en 5 estaciones y en el período lluvioso en 2 estaciones en la bahía Cárdenas-Varadero, clasificando esas estaciones como aguas marinas eutróficas.

En el período lluvioso se aprecia en la bahía de Cienfuegos un incremento de los valores de clorofila-*a* fitoplanctónica en las aguas de algunas de las estaciones monitoreadas, clasificando las aguas como eutróficas en 3 de las dieciséis estaciones monitoreadas.

Las concentraciones de clorofila-*a* fitoplanctónica en todas las estaciones y en ambos períodos hidrológicos indican la presencia de un ambiente eutrófico en las aguas superficiales de las bahía de Santiago de Cuba y Guantánamo. En todos los casos los valores medios permiten clasificar el agua como eutrófica.

No se encontró diferencia significativa entre las bahías de la costa norte y sur.

BIBLIOGRAFÍA

- Vitta, Yosmery; Fernández, Alberto; Campíns Falcó, Pilar (2009). Determinación selectiva de clorofila *a* por fluorescencia molecular. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 7 (1): 1-11. Universidad de Pamplona. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90312171005>
- Monge Pineda S. (2015). Desarrollo del método para la cuantificación de la clorofila-*a* en muestras de agua, por espectroscopia ultravioleta visible. Tesis: Universidad de El Salvador Facultad de Química y Farmacia. <http://ri.ues.edu.sv/8556/1/16103634.pdf>
- Rivera R. C, Zapata, A. et al. (2005). Comparación de la estimación de la clorofila-*a* mediante los métodos espectrofotométrico y fluorométrico. *Acta Biológica Colombiana*, 10 (2): 95.
- Informe Final (2006). Datos referenciales de clorofila-*a* y nutrientes en aguas de plataforma y Talud del mar Balear. <https://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST259ZI166878&id=1668>
- SCOR-UNESCO (1980). Determination of chlorophyll in sea water. *Technical Papers in Marine Science*. 35 pp.
- Hernández Herrera, P. y cols. (2012). Geografía de Cuba 9° grado. Ed. Pueblo y Educación. La Habana. Cuba. Disponible en: https://www.ecured.cu/Costas_de_Cuba.
- ISO 5667-3:1994: "Guidance on the preservation and handling of samples" Water quality. Sampling Part 3.
- International Standard. ISO 10260. Water quality. Measurement of biochemical parameters. Spectrometric determination of the chlorophyll-*a* concentration.
- SPSS versión 17 (Statistical Package for Social Sciences) (SPSS 2002).
- Beltrán, J., Gómez, Y. (2017). Evolución y control de la calidad ambiental del ecosistema marino de la bahía de La Habana. Proyecto No Asociado a Programa: Monitoreo de la Calidad Ambiental del ecosistema de la bahía de La Habana. Informe Final. Centro de Investigación y Manejo Ambiental del Transporte, Cimab. La Habana, 51pp.
- Margalef, R. 1991. *Ecología Omega*. Barcelona 951 pp.
- Ruiz, F. y Beltrán, J. (2005). Monitoreo de la calidad ambiental del ecosistema de la bahía de Mariel. Programa Ramal de Ciencia y Técnica. MITRANS. Actualización del inventario de las fuentes terrestres de contaminación de la bahía de Mariel. Resultado 1. Informe final. La Habana. 62 pp.
- Ruiz, F. y Gómez, Y. (2010). Monitoreo de la calidad ambiental del ecosistema de la bahía de Guantánamo. Programa Ramal de Ciencia y Técnica. MITRANS. Actualización del inventario de las fuentes terrestres de contaminación de la bahía de Guantánamo. Resultado 1. Informe final. La Habana. 62 pp.
- Regadera, R., Gómez, L., Gómez Y. & E. García. (2009). Control de la calidad ambiental del ecosistema marino de la bahía de Santiago de Cuba. Informe Parcial. Resultado 1, Programa Ramal de Ciencia y Técnica "Desarrollo Sostenible del Transporte y Medio Ambiente". Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas, Cuba, 21 pp.
- Sosa-Avalos, R., Gaxiola-Castro, G., Olivios-Ortiz, A. y Silva-Iñiguez, L. (2013). Nutrientes inorgánicos y producción de fitoplancton en una laguna costera subtropical de México. *Rev. Biología Marina Oceanografía*. Vol. 48, No 1. ISSN 0718-1957.
- Contreras, F., O. Castañeda y A. García (1994). La clorofila-*a* como base para un índice trófico en lagunas costeras mexicanas. *An. Inst. Cienc. Mar. Limnol. Univ. Nac. Autón. México*. 21: 55-66.
- Ruiz, F. y Gómez, Y. (2016). Monitoreo de la calidad ambiental del ecosistema de la bahía de Guantánamo. Programa Ramal de Ciencia y Técnica. MITRANS. Actualización del inventario de las fuentes terrestres de contaminación de la bahía de Guantánamo. Resultado 1. Informe final. La Habana. 62 pp.

18. Ruiz. F. Regadera. R. y López. L. (2013). Monitoreo de la calidad ambiental del ecosistema de la bahía de Guantánamo. Resultado 01. Control de la calidad ambiental del ecosistema marino de la bahía de Guantánamo. Informe Final. Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas (Cimab). Cuba. 32 pp.
19. Campos. M, Vargas.CJ et al. 2011. Distribución de la clorofila *a* en las aguas adyacentes a las islas de providencia y santa catalina, caribe Colombiano. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 40 (2) 347-360.