

Identificación de florecimientos fitoplanctónicos con el índice de propiedades ópticas inherentes $POI_{índice}$: caso de estudio El Laguito-Cartagena

Identification of phytoplankton blooms with the inherent optical properties index IOP_{index} : a case study in El Laguito, Cartagena

DOI: 10.26640/22159045.2020.513

Fecha de recepción: 2019/12/30 Fecha de aceptación: 2020/03/19

Mary Luz Cañón-Páez¹; Daniela Yomaira Rojas-Sánchez²; Luis Alberto de la Hoz Barrientos³; Liseth Johana Arregocés Silva⁴

CITAR COMO:

Cañón-Páez, M. L.; Rojas-Sánchez, D. Y.; De la Hoz Barrientos, L. A.; Arregocés Silva, L. J. (2020). Identificación de florecimientos fitoplanctónicos con el índice de propiedades ópticas inherentes $POI_{índice}$: caso de estudio El Laguito-Cartagena. *Bol. Cient. CIOH*; 39(1):3-13. ISSN impreso 0120-0542 e ISSN en línea 2215-9045. DOI: 10.26640/22159045.2020.513

RESUMEN

En la bahía de Cartagena desde hace más de tres décadas se han documentado florecimientos fitoplanctónicos, producto de los impactos generados por las actividades antropogénicas. Uno de estos eventos se presentó en agosto de 2019 en un cuerpo de agua denominado El Laguito, ubicado en el sector de Bocagrande. Para confirmar el evento, parámetros físicoquímicos, biológicos y ópticos fueron evaluados en 12 estaciones. El índice de propiedades ópticas inherentes ($POI_{índice}$) identificó una estación en florecimiento activo, otra en condiciones de ascenso o descenso del florecimiento y diez en condiciones de no florecimiento. La estación en florecimiento activo con el valor del índice más alto (2.76) reportó densidades que superaron las 5.80×10^6 células L^{-1} de *Gymnodinium* sp., 41.47 mg/ m^3 de chl-a, 9.86 unidades de pH y 8.63 mg L^{-1} de oxígeno disuelto. Por lo tanto, el $POI_{índice}$ constituye una herramienta de medición rápida y de bajo costo para programas de monitoreo del fitoplancton, así como para el seguimiento de la evolución de florecimiento fitoplanctónicos.

PALABRAS CLAVE: florecimientos fitoplanctónicos, índice bio-óptico, fitoplancton, zooplankton, El Laguito.

ABSTRACT

In the Cartagena Bay, phytoplanktonic blooms have been documented for more than three decades, as result of the impacts generated by anthropogenic activities. One of these events occurred on August 2019 in a body of water called El Laguito, located in Bocagrande sector. To confirm the event, physical-chemical, biological and optical parameters were evaluated in 12 stations. The Inherent Optical Properties index (POI_{index}) identified one station in active bloom, another in increase or decrease bloom conditions and ten in non-bloom condition. The station in active bloom with the highest index value (2.76) reported

¹ Orcid: 0000-0002-8144-8987. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH). El Bosque, isla de Manzanillo, Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla", Cartagena de Indias. Correo electrónico: MCanonPaez@dimar.mil.co

² Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH). El Bosque, isla de Manzanillo, Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla", Cartagena de Indias. Correo electrónico: drojas@dimar.mil.co

³ Orcid: 0000-0002-5130-1212. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH). El Bosque, isla de Manzanillo, Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla", Cartagena de Indias. Correo electrónico: ldelahoz@dimar.mil.co

⁴ Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe (CIOH). El Bosque, isla de Manzanillo, Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla", Cartagena de Indias. Correo electrónico: Liseth.Arregoces@dimar.mil.co

densities that exceeded 5.80×10^6 cells L^{-1} of *Gymnodinium* sp., 41.47 mg/m^3 of chl-a, 9.86 pH units and $8.63 \text{ mg } L^{-1}$ dissolved oxygen. Therefore, the POI_{index} constitutes a rapid and low-cost measurement tool for phytoplankton monitoring programs, as well as for monitoring the evolution of phytoplankton blooms.

KEYWORDS: Phytoplanktonic Bloom, bio-optic index, phytoplankton, zooplankton, El Laguito.

INTRODUCCIÓN

El fitoplancton juega un rol clave en los ecosistemas marinos y costeros, ya que por su alta diversidad son determinantes para los ecosistemas y sus ciclos biogeoquímicos (Xi, Hieronymi, Krasemann y Röttgers, 2017). Este grupo de organismos tiene la capacidad de adaptarse a diversas condiciones ambientales como alta o baja disponibilidad lumínica, temperatura, disponibilidad de nutrientes y turbulencia (Aiken *et al.*, 2008). Su ciclo de vida incluye la formación de estadios de resistencia (quistes) que pueden permanecer inactivos durante largos periodos de tiempo y activarse bajo condiciones ambientales óptimas, producto de eventos naturales y/o alteraciones generadas por la actividad humana. De esta manera se da inicio a ciclos de crecimiento y decrecimiento, regulados por ciertas condiciones físicas y químicas del agua (Calvo-Vargas y Arguedas-Rodríguez, 2013).

Estos incrementos de biomasa fitoplanctónica producen cambios en la coloración del agua y pueden tener, en algunos casos, efectos nocivos sobre otros organismos: de forma directa por la producción de toxinas o indirectamente por otros mecanismos como agotamiento de oxígeno, obstrucción de branquias, entre otros (Sar, Ferrario y Reguera, 2002). Otras afectaciones documentadas son las pérdidas económicas debidas a las implicaciones que este tipo de eventos tienen en las pesquerías y el turismo (Anderson, Hoagland, Kaoru, White, 2000).

Varios estudios (Iocg, 2014) han documentado diversos métodos para estudiar los florecimientos del fitoplancton, uno de ellos es el método tradicional, el cual implica conteo celular, experiencia del observador en la identificación taxonómica de la especie y la determinación de variables asociadas como la concentración de clorofila; actividades que requieren tiempo y experiencia (Hu *et al.*, 2014). Por lo tanto, el reto es implementar sistemas de monitoreo con

resoluciones espacio-temporales que permitan hacer seguimiento a eventos de florecimiento. En este sentido, algunas propiedades ópticas pueden proporcionar información rápida y robusta para este propósito (Kurekin, Miller y Van der Woerd, 2014; Santamaría del Ángel *et al.*, 2015).

En particular, el índice de propiedades ópticas inherentes (POI_{indice}) considera la contribución de los coeficientes de absorción del fitoplancton (a_{fito}), el detritus (a_{det}) y de la materia orgánica disuelta (a_{CDOM}) (Santamaría del Ángel *et al.*, 2015; Aguilar-Maldonado *et al.*, 2018) ya que la señal de la luz es afectada por estos componentes en el agua (Kirk, 2011). El POI_{indice} se calcula con base en la primera función empírica ortogonal estandarizada de los datos de $Za_{fito,443}$, $Za_{det,443}$ y $Za_{CDOM,443}$; y sus valores brindan información sobre el estado de los eventos de florecimiento. Valores de $POI_{indice} < 1$ corresponden a un estado de no florecimiento; entre 1 y 2 a un florecimiento en estado de iniciación o finalización, y > 2 a florecimiento activo (Aguilar-Maldonado *et al.*, 2018).

En diferentes estudios se ha reconocido la presencia de más de 30 especies productoras de floraciones en la bahía de Cartagena, reportándose ocho casos puntuales en diferentes sectores de la bahía interna (Dimar-CIOH, 2011). El primer reporte de floración se documentó en 1974 en la bahía de Cartagena, sector del manglar, provocada por un dinoflagelado atecado no identificado (Mancera y Vidal, 2007). En 1980, en el sector de Bocagrande, se registró un florecimiento generado por dos especies de dinoflagelados, *Gymnodinium sanguineum* y *Akashiwo sanguinea* (Mancera y Vidal, 2007). Treinta años después, en la bahía de las Ánimas se reportó el tercer caso de floración generada por las especies *Gonyaulax polygramma* y *Gonyaulax digitalis* (CIOH, 2010; datos sin publicar). Para el año 2013 se reportaron de forma seguida dos casos: el primero durante el mes de marzo en el sector de Castillogrande involucró a la especie *Mesodinium rubrum* y el

segundo, en abril, en la bahía interna, con la presencia de *Prorocentrum lima* y *Prorocentrum balticum* (CIOH, 2013; datos sin publicar), especies que en el año 2015 proliferaron en el sector de la Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla" (ENAP) (CIOH, 2015; datos sin publicar). Los casos más recientes se registraron en isla de Tierrabomba, en el año 2016, y en la bahía interna, en 2018, identificándose como responsables a *Cochlodinium sp*, *Alexandrium catenella* y *Skeletonema costatum*, respectivamente (CIOH, 2018; datos sin publicar). En ninguno de los casos mencionados se evidenció mortandad de organismos marinos asociada a estos eventos.

El Laguito es un sector turístico muy popular de Cartagena, debido a su moderna infraestructura y que se destaca en el horizonte por sus edificios altos alrededor del lago que actualmente se encuentra cerrado, producto del efecto de actividades antropogénicas. En el primer tercio del siglo pasado era un lago limitado hacia la bahía por una barra de arena inestable, con una gran boca, en cuyo fondo se construyó el Hotel Caribe. Hacia los años 60 fue dragado para darle profundidad y con la arena y caracolejo extraído de su lecho se estabilizaron los terrenos, sobre los que se construyeron edificios residenciales y turísticos. De acuerdo con la Fundación Bahía y

Ecosistemas de Colombia, la boca que conectaba al Laguito con el mar se cerró completamente desde el año 2007, lo cual permite inferir que las especies que en este habitan se encuentran adaptadas a estas nuevas condiciones.

METODOLOGÍA

Muestras de agua superficiales para análisis de clorofila, fitoplancton, zooplancton, oxígeno disuelto y coeficientes de absorción particulado y disuelto, fueron colectadas en doce estaciones durante el mes de agosto de 2019 (Figura 1) en El Laguito-Bocagrande, en respuesta a un evento ambiental informado que desencadenó la muerte masiva de peces en este cuerpo de agua. Fueron colectados 250 ml de agua en cada estación para la determinación tanto de fitoplancton como de zooplancton y fijados con formol al 4 %; adicionalmente, 500 ml fueron empleados para la determinación de clorofila a. Con sondas multiparamétricas se registró in situ el valor del pH, la salinidad y el oxígeno disuelto.

Por otro lado, para la determinación de propiedades ópticas inherentes y el cálculo del POÍndice se determinaron los coeficientes de absorción por el material particulado aP (λ), de acuerdo con los criterios de Mitchell, Kahru,

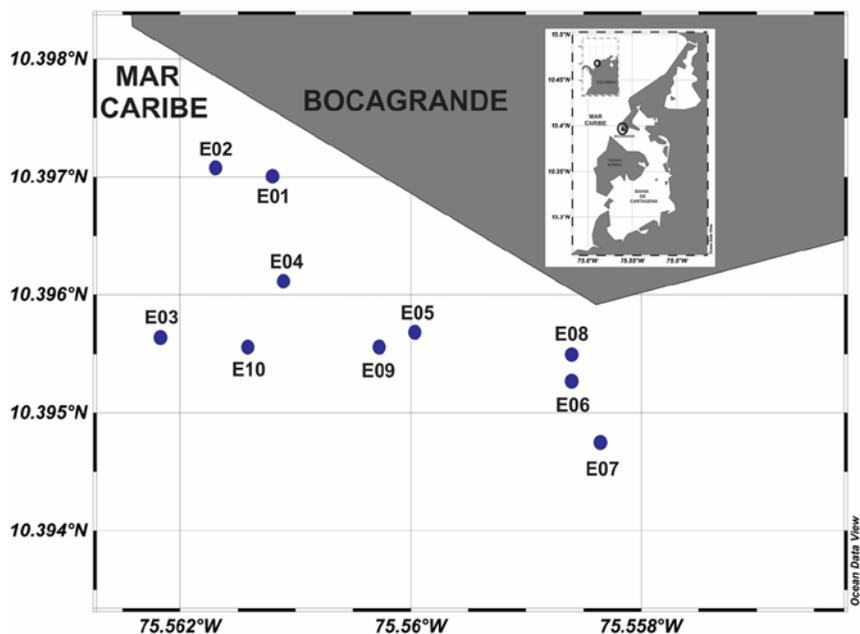


Figura 1. Área de estudio. Estaciones ubicadas en el cuerpo de agua El Laguito, ubicado en el sector de Bocagrande en la bahía de Cartagena. Colombia.

Wieland, Stramska (2002), mediante la filtración de entre 250 ml y 500 ml de agua a través de filtros GF/F con un sistema de filtración positiva. Se tomaron 250 ml de agua en botellas ámbar previamente tratadas con HCl al 10 % y mufladas a 450°C, para determinar los coeficientes de absorción de la materia orgánica disuelta ($a_{CDOM}(\lambda)$).

En el laboratorio, para el análisis de las muestras de fitoplancton se contaron alícuotas de 1 ml con un microscopio invertido en aumentos de 4 y 10 X; la identificación taxonómica se realizó de acuerdo a los trabajos de Taylor (1976) y Vidal (2010). En cuanto al zooplancton, cada muestra fue concentrada mediante sedimentación tras mínimo 24 horas de reposo. Posteriormente, se extrajo el sobrenadante hasta obtener un volumen final de 15 ml. El análisis se realizó en un microscopio óptico a 200 aumentos, por alícuotas de 1 ml en una cámara Sedgwick-Rafter. Los organismos encontrados fueron identificados hasta el nivel taxonómico más bajo posible siguiendo bibliografía especializada para cada grupo (Owre y Foyo, 1967; Gaviria, 2000). Para determinar el número de organismos m^{-3} se calculó el volumen de agua filtrada empleando la fórmula del flujómetro. Los valores de abundancia fitoplanctónica se presentan en células L^{-1} y la zooplanctónica en organismos m^{-3} .

Para el $a_P(\lambda)$, los filtros se humedecieron con una gota de agua de mar filtrada y su densidad óptica(OD) se leyó entre 400 nm a 700 nm con incrementos de 1 nm, a través de un espectrofotómetro varían -Cary 100, de acuerdo con el procedimiento de Mitchell *et al.* (2002). Después de la primera lectura, los filtros se mantuvieron en metanol caliente para retirar los pigmentos y obtener el coeficiente de absorción del material no pigmentado también denominado detritus adet (λ). El coeficiente de absorción del fitoplancton $a_{fito}(\lambda)$ se obtuvo por la diferencia entre el $a_p(\lambda)$ y el $a_{det}(\lambda)$. Para la determinación del $a_{CDOM}(\lambda)$, las muestras de agua se filtraron a través de filtros de membrana de 0.25 μm de poro y la densidad óptica del filtrado se leyó entre 250 nm a 750 nm, usando celdas de 10 cm de longitud. La determinación $a_{CDOM}(\lambda)$ se realizó de acuerdo con Mitchell *et al.* (2002).

El estado del florecimiento de las estaciones se determinó mediante el POIÍndice, de acuerdo con

Santamaría del Ángel *et al.*, (2015) y se define como:

$$POI_{s\acute{ind}ice} = -1 * [(b_{1,1} * Z a_{fito,443}) + (b_{1,2} * Z a_{CDOM,443}) + (b_{1,3} * Z a_{det,443})] \quad (1)$$

Donde, Z corresponde a las anomalías espaciales estandarizadas de las absorciones a_{fito} (443), a_{CDOM} (443) y a_{det} (443), y los coeficientes $b_{1,1}$, $b_{1,2}$, y $b_{1,3}$ a los pesos de las absorciones y constituyen el primer eigenvector obtenido por una matriz de correlación de Pearson o Primera Función Empírica Ortogonal Estandarizada (Santamaría del Ángel, González-Silvera, Millán-Núñez, Callejas-Jiménez y Cajal-Medrano, 2011). Valores positivos del POIÍndice indican condiciones de florecimiento, mientras que valores negativos indican condiciones de no florecimiento (Aguilar-Maldonado *et al.*, 2018). La ventaja de utilizar esta aproximación es que es independiente del número de observaciones, por tanto es un buen método para comparar campañas de investigación con muestras no equilibradas (Santamaría del Ángel *et al.*, 2015). Con el $a_{fito}(\lambda)$ también fue posible determinar el índice de tamaño de la población dominante de fitoplancton (Wu *et al.*, 2007; Millán-Núñez y Millán-Núñez, 2010), mediante la siguiente relación:

$$A/R = \frac{a_{fito}(443)}{a_{fito}(675)} \quad (2)$$

De esta forma, a través de diagramas de dispersión entre los valores del POIÍndice y la razón A/R fue posible conocer la fracción de tamaño de la población de fitoplancton responsable del florecimiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontró una estación en condiciones de florecimiento activo, una en condiciones de ascenso o descenso del florecimiento y diez en estado de no florecimiento (Figura 2). De acuerdo con el diagrama de dispersión que asocia el POIÍndice con el índice de tamaño, para estas dos estaciones la comunidad de fitoplancton responsable del florecimiento correspondió a la fracción del microfítoplancton (Figura 2). En la estación dos, en la cual se encontró la desviación estándar más

alta del índice (2.76) se identificó la presencia de un dinoflagelado del género *Gymnodinium* (Figura 2), cuyas concentraciones sobrepasaron las 5.8×10^6 células L^{-1} , provocando un cambio en el color del agua. Especies de este género han sido reportadas para el mar Caribe y se caracterizan por provocar una coloración rojiza en

el cuerpo de agua y por la producción de toxinas (saxitoxinas) que causan obstrucción respiratoria a nivel branquial en peces; otras cinco especies de microalgas fueron identificadas, de las cuales tres son potenciales formadores de florecimiento algales nocivos.

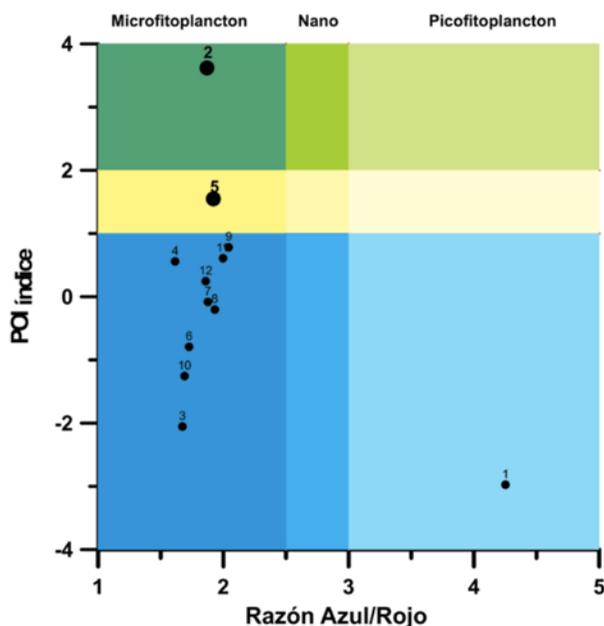


Figura 2. Relación del $POI_{índice}$ con la estructura de tamaño para identificar el florecimiento fitoplanctónico en El Laguito durante agosto de 2019. La estación dos en estado de florecimiento activo y la estación cinco entrando en florecimiento.

Además del resultado del $POI_{índice}$, el evento fue confirmado para el área de estudio mediante observación de cambios en el color del agua generados por el aumento de biomasa del dinoflagelado *Gymnodinium sp.* De acuerdo con Kirk (2011), este material particulado junto con la degradación de la biomasa en etapas de posflorecimiento incrementa los valores del CDOM, haciendo que la señal de la luz en el agua se vea afectada (Cetinic, Mobley, Roesler, Boss y Taylor, 2018) y con ello se puedan documentar florecimientos generados por la influencia de la actividad antropogénica (Aguilar-Maldonado *et al.*, 2018).

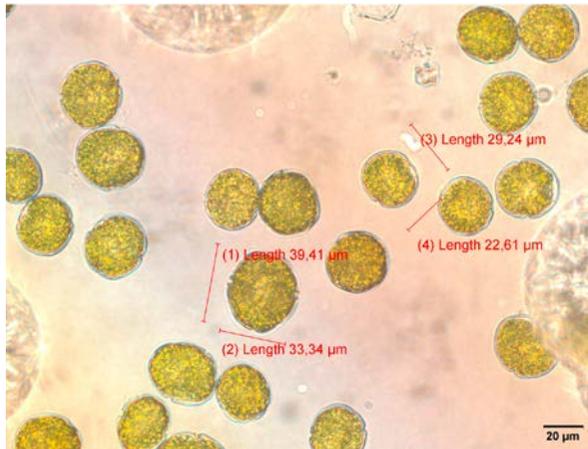
Por otro lado, los criterios de definición del estado de florecimiento indicaron que la estación cinco estaba entrando en condiciones de florecimiento activo (Figura 2), debido a que el bajo valor del valor del Za_{CDOM} (0.74) para esta

estación no refleja concentraciones elevadas de degradación de la materia orgánica.

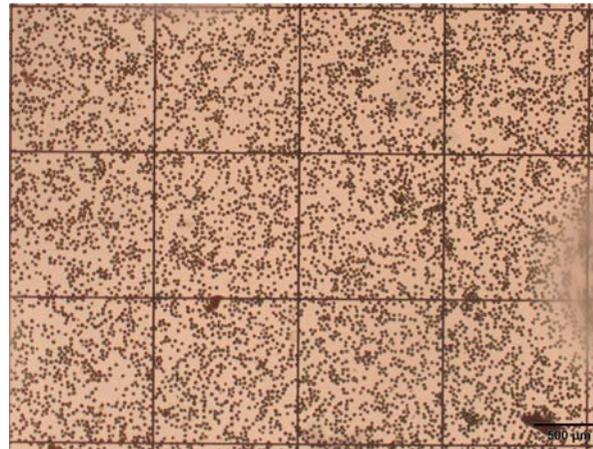
La fracción de tamaño de la comunidad fitoplanctónica causante del florecimiento, de acuerdo con la razón azul/rojo (Wu *et al.*, 2007; Millán-Núñez y Millán-Núñez, 2010), indicó que se trató de microfitoplancton, aspecto confirmado con observaciones al microscopio de las muestras de fitoplancton colectadas y cuyos tamaños superaron las 20 micras (Figura 2). Sin embargo, para la estación uno el $POI_{índice}$ también detectó la presencia de picofitoplancton; aunque la estación no se encontraba en estado de florecimiento, la ventaja de este método es que, a diferencia del método tradicional, puede detectar florecimientos de estructuras de tamaño pequeñas, inobservables con el microscopio (Cañón-Páez y Santamaría del Ángel, en prensa).

Otros parámetros que confirmaron el florecimiento fueron las altas concentraciones de clorofila *a*, la cual varió en los primeros días entre 3.79 mg/m³ y 41.47 mg/m³ (Figura 3a). El oxígeno registró concentraciones entre 8.96 mg L⁻¹ a 28.8 mg L⁻¹ (Figura 3b), características de sistemas sobresaturados que pueden obedecer a los procesos de fotosíntesis realizados durante el ciclo diurno por el organismo y condiciones de

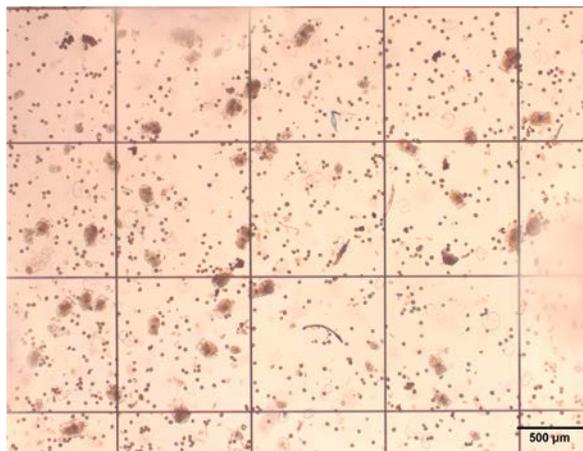
anoxia durante la noche. De igual modo el pH varió entre 9.7 a 10.7 unidades de pH (Figura 3c), valores característicos de ambientes bajo la influencia de florecimientos de microalgas o crecimientos de comunidades densas de macroalgas (Talavera, Zapata y Sánchez, 1998); en particular, se han documentado que los florecimientos de *Gymnodinium* se asocian con valores altos de pH (Hinga, 1992).



(a) *Gymnodinium* sp, dinoflagelado identificado en el florecimiento algal de El Laguito.



(b) Densidad microalgal el 18-08-19.



(c) Densidad microalgal el 31-08-19.

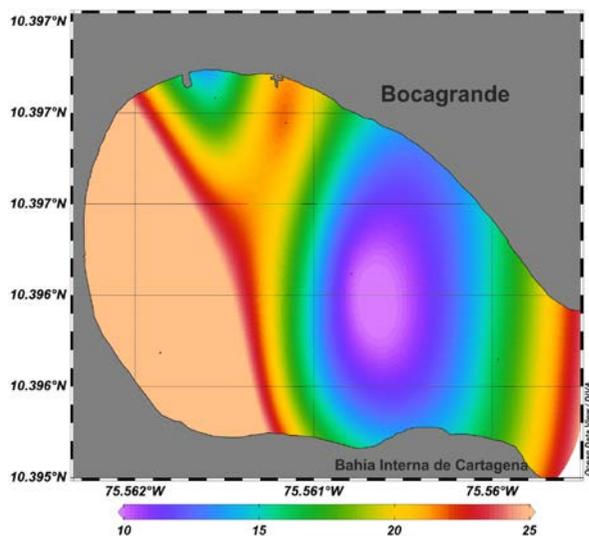
Figura 3. (a) Dinoflagelado *Gymnodinium*, identificado en el florecimiento algal. De El Laguito. Note el declive en la densidad microalgal desde el muestreo inicial (18-08-2019) (b) hasta el último muestreo (31-08-2019) (c).

Considerando que la especie dominante del florecimiento registrado en las estaciones dos y cinco fue *Gymnodinium sp.*, el espectro adimensional observado en la Figura 4 presenta la forma del espectro de absorción de la especie; este espectro puede ser utilizado para la identificación rápida de la especie en otros eventos. Trabajos previos (Bricaud, Claustre, Ras, Oubelkheir 2004; Cota, Harrison, Platt, Sathyendranath, Stuart, 2003; Xi, Hieronymi, Röttgers, Krasemann, Qiu, 2015) han documentado a través de espectros adimensionales de afito (λ), cambios en la estructura de la comunidad fitoplanctónica originados por la disponibilidad de luz, nutrientes, concentración y composición de pigmentos al interior de la célula (Cetinic *et al.*, 2018), así como el tamaño de la población (Uitz, Claustre, Morel, Hooker, 2006).

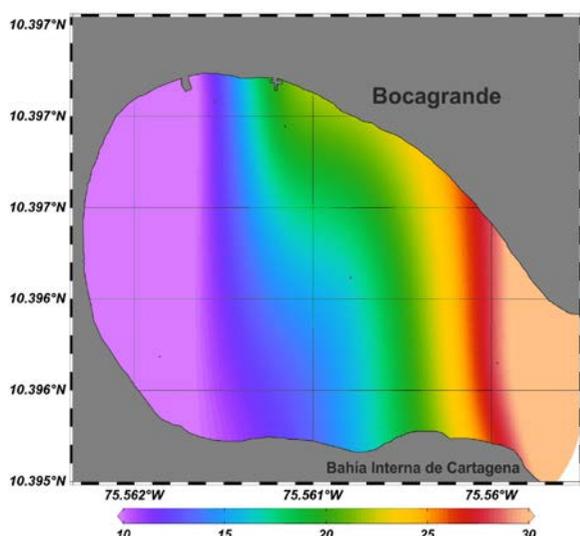
De otro lado, se registraron diferentes organismos heterótrofos comunes en este tipo de aguas, siendo los rotíferos el grupo con mayor representatividad numérica (27.000 org/m³); sin embargo, las densidades encontradas fueron

menores a las mencionados para otros cuerpos de agua salobre del Caribe colombiano (Celis, Mancera y León 2008; Dorado Roncancio, 2009). Dentro de este grupo, el género *Brachionus* es conocido por su considerable actividad herbívora, útil en el control de florecimientos fitoplanctónicos (Baek, Sung-Su, Shin-Young, Hae-Ok y Myung-Soo, 2009); no obstante, debido a la ausencia de información preliminar sobre la estructura de la comunidad de rotíferos en el sitio de interés, su abundancia no puede ser atribuida al aumento de la densidad fitoplanctónica.

Dos semanas después se evidenció el descenso del evento, encontrándose menor cantidad de células de *Gymnodinium sp.* (Figura 2c). En contraste, se observó un mayor número de rotíferos (Figura 5), lo cual puede atribuirse a la herbivoría por parte del microzooplancton (incluidos los rotíferos), cuyas tasas pueden exceder el crecimiento de dinoflagelados formadores de floraciones (Calbet, Vaqué, Felipe, Vila y Monserrat, 2003).



(a) Concentraciones de clorofila a (mg/m³).



(b) Oxígeno disuelto (mg/L).

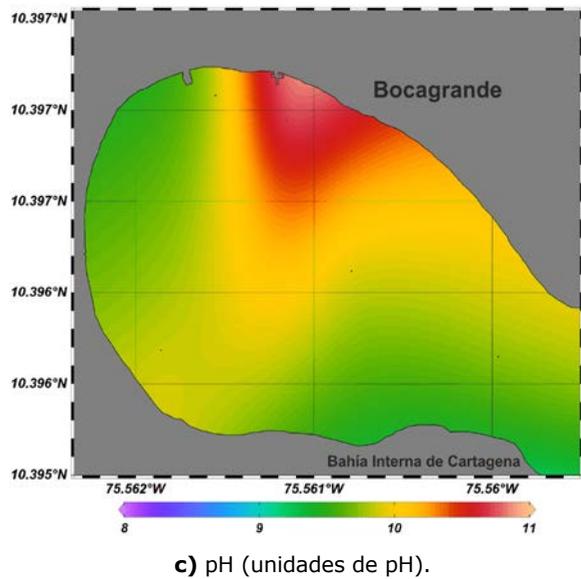


Figura 4. Parámetros en El Laguito durante el evento de florecimiento.

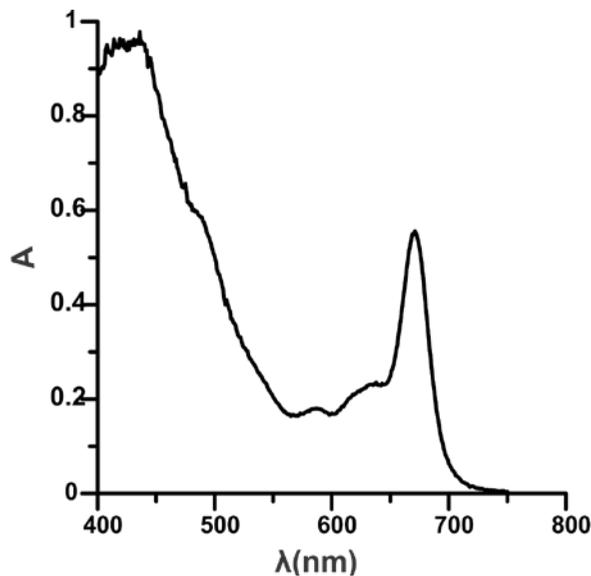


Figura 5. Espectro de absorción normalizado (A, adimensional) de *Gymnodinium sp.* de las muestras tomadas en El Laguito.

CONCLUSIONES

Con datos ópticos, biológicos y físicos fue posible identificar la condición de estado de florecimiento activo de la especie *Gymnodinium sp* en el cuerpo de agua de El Laguito. Por lo tanto, la implementación de aproximaciones como el POÍ índice constituye una herramienta útil y rápida de monitoreo y seguimiento ambiental de este

tipo de eventos, teniendo en cuenta que es capaz de detectar si dichos eventos están operativos o no en ambientes de alta complejidad como los ecosistemas costeros, sometidos constantemente a intervención antropogénica.

Es preciso indicar la duración y recurrencia de estos eventos ante condiciones ambientales favorables permanecen desconocidos. Una de

las preguntas latentes, por ejemplo, es si este florecimiento de *Gymnodinium* sp es algo nuevo en este cuerpo de agua o es un fenómeno preexistente, que fue invisible hasta ahora

por la ausencia de muestreos en este lugar. Por lo anterior, es conveniente continuar con los programas de monitoreo que incorporen el componente óptico para identificar dichos ciclos.



(a) Rotífero adulto (*Brachionus* sp.).



(b) Rotífero recién eclosionado encontrados en el muestreo del 31-08-19.

Figura 6. Aspectos biológicos del rotífero *Brachionus* sp.

REFERENCIAS

- Aiken, J.; Hardman-Mountford, N. J.; Barlow, R.; Fishwick, J.; Hirata, T.; Smyth, T. (2008). Functional links between bioenergetics and bio-optical traits of phytoplankton taxonomic groups: an overarching hypothesis with applications for ocean colour remote sensing. *J. Plankton Res.* 30(2):165-181. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbm098>
- Aguilar-Maldonado, J.; Santamaría-del-Ángel, E.; González-Silvera, A.; Cervantes-Rosas, O.; López, L.; Gutiérrez-Magness, A.; Cerdeira-Estrada, S.; Sebastián-Frasquet, M.-T. (2018). Identification of Phytoplankton Blooms under the Index of Inherent Optical Properties (IOP Index) in Optically Complex Waters. *Water*, 10(2):129. <https://doi.org/10.3390/w10020129>
- Anderson, D. M.; Hoagland, P.; Kaoru, Y.; White, A. W. (2000). Estimated annual economic impacts from harmful algal blooms (HABs) in the United States. Technical Report WHOI-2000-11, Woods Hole Oceanographic Institute. *Woods Hole, Mass.* <https://doi.org/10.1575/1912/96>
- Baek, S. H.; Sung-Su, H.; Shin-Young, S.; Hae-Ok, L.; Myung-Soo, H. (2009). Effects of Zooplankton Grazing on the Suppression of Harmful Algal Blooms by the Rotifer *Brachionus calyciflorus* in Freshwater Ecosystems. *Korean J. Limnol.* 42 (1), 67-74.
- Bricaud, A.; Claustre, H.; Ras, J.; Oubelkheir, K., (2004). Natural variability of phytoplanktonic absorption in oceanic waters: Influence of the size structure of algal populations. *J. Geophys. Res.*, 109:C11010. <https://doi.org/10.1029/2004JC002419>

- Calbet, A.; Vaqué, D.; Felipe, J.; Vila, M.; Monserrat, M. (2003). Relative grazing impact of microzooplankton and mesozooplankton on a bloom of the toxic dinoflagellate *Alexandrium minutum*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 259:303-309. <https://doi.org/10.3354/meps259303>
- Calvo-Vargas, E.; Arguedas-Rodríguez, M. (2013). *Monitoreo de las Floraciones Algales Nocivas (FANs) en el Golfo de Nicoya, Puntarenas, Costa Rica*. Escuela de Ciencias Biológicas, Estación de Biología Marina, Laboratorio de Fitoplancton Marino. 24 pp.
- Celis, S.; Mancera, E.; León, J. A. (2008). Evaluación de la rotíferofauna presente en el complejo de pajarales durante la época lluviosa, departamento de Magdalena, Colombia. *Acta Biol. Colomb.* 13 (2), 23-40.
- Cetinic, I.; Mobley, C.; Roesler, C.; Boss, E.; Taylor, L., (2018). *Optical Constituents of the Ocean: phytoplankton*. Ocean Optics Web Book. http://www.oceanopticsbook.info/view/optical_constituents_of_the_ocean/_phytoplankton.
- Cota, G. F.; Harrison, G.; Platt, T.; Sathyendranath, S.; Stuart, V. (2003). Bio-optical properties of the Labrador Sea. *J. Geophys. Res.* 108, 3228. <https://doi.org/10.1029/2000JC000597>
- Dimar-CIOH. (2011). *Catálogo de fitoplancton de la Bahía de Cartagena, Bahía Portete, y agua de lastre*. Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. Ed. Dimar, Serie de publicaciones especiales CIOH Vol. 5, Cartagena de Indias, Colombia 109 p.
- Dorado Roncancio, J. D. (2009). *Composición y distribución del zooplancton en el sistema cenagoso del Parque Vía Isla Salamanca en dos momentos hidrológicos*. Tesis de Pregrado en Biología Marina. Universidad Jorge Tadeo Colombia. Bogotá, 78 pp.
- Gaviria, S. (2000). *Guía de laboratorio para identificación de cladóceros, copépodos y rotíferos*. Curso Sistemática del Zooplancton (Copepoda, Cladocera, Rotatoria) de las aguas continentales de Colombia. Universidad de Antioquia.
- Hinga, K. R. (1992). Co-occurrence of dinoflagellate blooms and high pH in marine enclosures. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 86:181-187. <https://doi.org/10.3354/meps086181>
- Hu, Ch.; Sathyendranath, S.; Shutler, J. D.; Brown, C. W.; Moore, T. S.; Craig, S. E.; Soto I.; Subramaniam, A. (2014). Detection of Dominant Algal Blooms by Remote Sensing, *IOCCG Reports No. 15*, IOCCG, 39-70.
- IOCCG. (2014). Phytoplankton Functional Types from Space. Sathyendranath, S. (ed.), *Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group, No. 15*. IOCCG. Dartmouth, Canada. 164 pp.
- Kirk, J. T. O. (2011). *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. 3er edition. Cambridge University Press, Cambridge, 649 pp.
- Kurekin, A. A.; Miller, P. I.; Van der Woerd, H. J. (2014). Satellite discrimination of *Karenia mikimotoi* and *Phaeocystis* harmful algal blooms in European coastal waters: Merged classification of ocean colour data. *Harmful Algae*, 31, 163-176. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2013.11.003>
- Mancera, J.; Vidal, L. (2007). Informe de Colombia. 27-30. In: Mancera, J. E. (Ed.). *IOC Regional Science Planning Workshop on Harmful Algal Blooms in: Iocaribe- ANCA IV*. Universidad Nacional de Colombia, Sede Caribe, San Andrés. 81 pp.
- Millán-Núñez, E.; Millán-Núñez, R. (2010). Specific Absorption Coefficient and Phytoplankton Community Structure in the Southern Region of the California Current during January 2002. *J. Oceanogr.*, 66,719-730. <https://doi.org/10.1007/s10872-010-0059-z>
- Mitchell, B. G.; Kahru, M.; Wieland, J.; Stramska, M. (2002). Determination of spectral absorption coefficients of particles, dissolved material and phytoplankton for discrete water samples. In: Mueller, J. L.; Fargion, G. S.; McClain, R. (eds). *Ocean Optics protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation, Revision 4, Volume IV: Inherent Optical Properties: Instruments, Characterizations, Field Measurements and Data Analysis Protocols*. NASA/TM-2003-211621, NASA Goddard Space Flight Center.

- Greenbelt, MD. (Chapter 4), 39-60. Palma, E.D., Matano, R.P., 2012. A numerical study of the Mage.
- Owre, H. B.; Foyo, M. (1967). *Copepods of the Florida Current. Fauna Caribaea*. Numero I. Crustacea, Parte I: Copepoda. Institute of Marine Science, University of Miami. 137 pp.
- Santamaría del Ángel, E.; González-Silvera, A.; Millán-Núñez, R.; Callejas-Jiménez, M. E.; Cajal-Medrano, R. (2011). *Case Study 19. Determining Dynamic Biogeographic Regions using Remote Sensing Data. Handbook of Satellite Remote Sensing Image Interpretation: Applications for Marine Living Resources Conservation and Management (2011)*. EU PRESPO and IOCCG, Dartmouth, Canada, 293 pp.
- Santamaría del Ángel, E.; Soto, I.; Wolny, J.; Cerdeira-Estrada, S.; Cajal-Medrano, R.; Muller-Karger, F.; Cannizzaro, J.; Padilla-Rosas, Y. X. S.; Mercado-Santana, A.; Gracia-Escobar, M. F.; Alvarez-Torres, P.; Ruiz-de-la-Torre, M. C. (2015). *Phytoplankton Blooms: New Initiative Using Marine Optics as a basis for monitoring programs. Coastal Ecosystems: Experiences and Recommendations for Environmental Monitoring Programs*. 57-88. Nova Science Publishers, Inc.
- Sar, E.; Ferrario, M.; Reguera, B. (2002). *Floraciones Algales Nocivas en el Cono Sur Americano. Instituto Español de Oceanografía*. España. 305 pp.
- Talavera, V.; Zapata L. M.; Sánchez D. (1998). Influencia del pH sobre los organismos acuáticos. *Boletín Nicovita*. Ediciones Tumpis, 4 pag.
- Uitz, J.; Claustre, H.; Morel, A.; Hooker, S. B. (2006). Vertical distribution of phytoplankton communities in open ocean: An assessment based on surface chlorophyll. *Journal of Geophysical Research: Oceans*:111(C8005). <https://doi.org/10.1029/2005JC003207>
- Wu, J.; Hong, H.; Shang, S.; Dai, M.; Lee, Z.; Wu, J.; Hong, H.; Shang, S.; Dai, M.; Variation, Z. L. (2007). Variation of phytoplankton absorption coefficients in the northern South China Sea during spring and autumn. *Biogeosciences Discussions*, 4(3):1555-1584. <https://doi.org/10.5194/bgd-4-1555-2007>
- Xi, H.; Hieronymi, M.; Röttgers, R.; Krasemann, H.; Qiu, Z. (2015). Hyperspectral Differentiation of Phytoplankton Taxonomic Groups: A Comparison between Using Remote Sensing Reflectance and Absorption Spectra. *Remote Sensing*, 7(11), 14781-14805. <https://doi.org/10.3390/rs71114781>
- Xi, H.; Hieronymi, M.; Krasemann, H.; Röttgers, R. (2017). Phytoplankton group identification using simulated and in situ hyperspectral remote sensing reflectance. *Frontiers in Marine Science*, 4, 272. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00272>