

Análisis de la respuesta de la Bahía de Cienfuegos a los cambios en las concentraciones de nutrientes

Analysis of Cienfuegos Bay response to the changes of nutrients concentrations

Mabel Seisdedo,¹ Yohanna Morales,² Roberto Suárez² y Gustavo Arencibia³

¹ Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC), Calle 17 esq. Ave. 46 s/n, Reparto Reina, Cienfuegos, Cuba, CP: 55100, E-mail: mabel@gestion.ceac.cu

² Universidad Carlos Rafael Rodríguez, Carretera a Rodas, km 3/2, Cienfuegos, CP: 59430.

³ Centro de Investigaciones Pesqueras, 5ta. Ave. y calle 246, Santa Fe, Playa, La Habana, Cuba, CP: 19100, Teléfono: (537) 209-7875.

RESUMEN

El objetivo de este estudio es analizar la respuesta de la Bahía de Cienfuegos a los cambios en las concentraciones de nutrientes. Para ello, se seleccionó una variable respuesta mediante un análisis de la frecuencia de uso en índices de estado trófico. Se utilizaron los resultados de nutrientes y clorofila *a* (Cl.*a*) obtenidos a partir de cuatro muestreos llevados a cabo durante el año 2009. Se realizó un análisis de correlaciones no paramétricas entre la variable respuesta (Cl.*a*) y las variables causales: el fósforo inorgánico disuelto (PI) y el nitrógeno disuelto inorgánico (NI). Se empleó el análisis de conglomerados jerárquicos con vista a identificar grupos de estaciones (casos) con respuestas relativamente homogéneas y se tuvieron en cuenta las dos temporadas climáticas presentes (lluviosa y poco lluviosa). Los resultados apenas mostraron significativas relaciones entre la Cl.*a* y los nutrientes en ambas temporadas climáticas, así como también se obtuvieron dos grupos de estaciones con similitudes para las dos temporadas climáticas consideradas. Las estaciones cuyas respuestas fueron de mayor magnitud corresponden al lóbulo norte que se caracteriza por tener mayor influencia antropogénica. Se obtuvieron condiciones eutróficas de forma puntual durante la temporada poco lluviosa, a diferencia de la temporada lluviosa cuando tales condiciones no fueron constatadas y esto puede asociarse a la influencia del tiempo de residencia de las aguas, el cual varía por temporada climática.

Palabras clave: estado trófico, respuesta, nutrientes, Bahía de Cienfuegos.

ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the response of Cienfuegos Bay to the changes of nutrients concentrations. For this, a response variable was selected by means of an analysis of the use frequency in indexes of trophic state. The results of nutrients and chlorophyll *a* (Cl.*a*) obtained from four samplings carried out during the year 2009, were used. An analysis of non parametric correlations was carried out among the response variable (Cl.*a*) and the causal variables: the dissolved inorganic phosphorus (IP) and the dissolved inorganic nitrogen (IN). The analysis of hierarchical clusters was used in order to identify groups of stations (cases) with relatively homogeneous responses and the two seasons (rainy and not very rainy) were taking into account. The results hardly showed significant relationships between the Cl.*a* and the nutrients in both seasons, as well as two groups of stations with similarities were obtained for the two considered seasons. The stations whose responses were of more magnitude correspond to the north lobe that is characterized to have the more anthropogenic influence. Eutrophic conditions in a punctual way were obtained during the not very rainy season, contrary to the rainy season when such conditions were not verified and this can associate to the influence of the residence time of the waters, which varies according to the season.

Keywords: trophic state, response, nutrients, Cienfuegos Bay.

INTRODUCCIÓN

Uno de los tipos de afectaciones que reciben con mayor frecuencia las aguas marino-costeras es la incorporación de una excesiva cantidad de nutrientes, lo cual estimula el crecimiento abundante de algas y reduce los niveles de oxígeno disuelto cuando la materia orgánica se descompone. A este proceso descrito, Paytan & McLaughlin (2007) lo denominaron eutrofización.

Cloern (2001) en su modelo conceptual de eutrofización costera, fase II, incluye algunos avances, entre ellos: el reconocimiento explícito de un complejo grupo de respuestas directas e indirectas en este proceso, así como la existencia de diferencias entre sistemas en cuanto a la magnitud y carácter de las respuestas debido a los atributos de cada sistema que actúan como un filtro para modular las mismas.

En este sentido, Dettman (2001) expuso que las concentraciones de nutrientes pueden no ser una variable robusta de diagnóstico, ya que altas concentraciones no son obligatoriamente indicador de eutrofización y bajas concentraciones, no necesariamente indican ausencia de esta. Por ello, también se ha sugerido (EPA, 2001) la necesidad de considerar otras variables y de hacer distinciones entre variables causales (nutrientes) y variables respuesta (ejemplo: clorofila *a*, oxígeno disuelto).

El objetivo de este estudio es analizar cómo responde la Bahía de Cienfuegos a los cambios en las concentraciones de nutrientes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La Bahía de Cienfuegos se encuentra ubicada en los 22° 09' LN y 80° 27' LO en la región centro y Sur de Cuba (Fig. 1), tiene un área de 88,46 km², un volumen total de 0,84 km³ y una profundidad promedio de 9,5 m. De forma natural está dividida en dos lóbulos delimitados por el bajo Las Cuevas, que ejerce gran influencia en la circulación de las masas de agua dentro de la bahía.

En esta bahía desembocan los ríos Caunao y Arimao, en el lóbulo sur; mientras el Damují, el Salado, el arroyo Inglés y el arroyo Las Calabazas, en el lóbulo norte. La mezcla de las aguas marinas y fluviales presente en este sistema acuático, le concede características estuarinas. También, están presentes diversos usos socioeconómicos: industrial, urbano, turístico, etc., los cuales hacen que este sistema esté propenso al deterioro de la calidad de sus aguas.

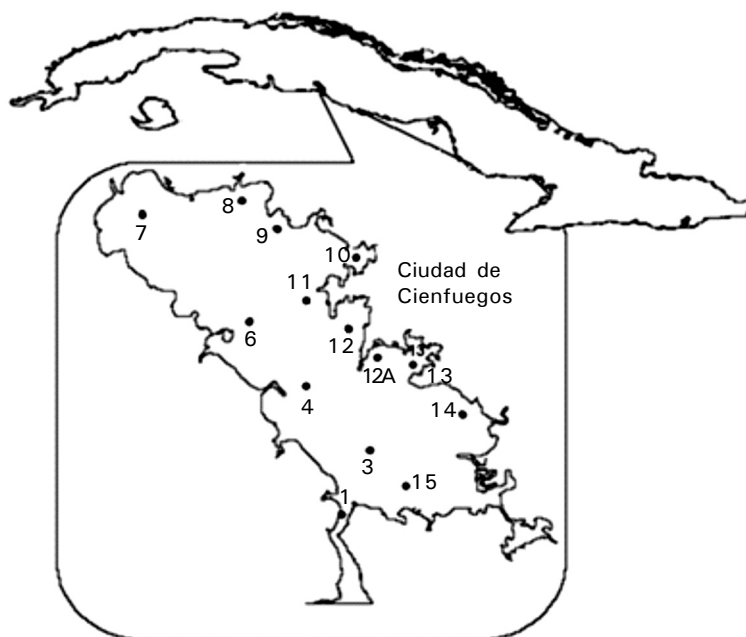


Fig. 1. Área de estudio y red de estaciones del Programa de monitoreo hidrológico de la Bahía de Cienfuegos.

Análisis de datos

La selección de la variable respuesta se basó en el análisis de la importancia ambiental a partir de su consideración en estudios de evaluación de estado tróficos en sistemas marino-costeros, mediante la frecuencia de uso en aplicaciones a nivel nacional e internacional de diversos índices existentes para dicho propósito (ejemplo: Karydis *et al.*, 1983; Vollenweider *et al.*, 1998, Bricker *et al.*, 2003; Primpas *et al.*, 2009). El criterio considerado fue el mayor porcentaje de frecuencia de uso.

Luego de constatar la no distribución normal de los resultados mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, se realizó un análisis de correlaciones no paramétricas (Spearman) entre la variable respuesta seleccionada y las variables causales, en este caso se consideró: el fósforo inorgánico (PI) y el nitrógeno disuelto (NI). También, se empleó el análisis de conglomerados jerárquicos con vista a identificar grupos de estaciones (casos) con respuestas relativamente homogéneas. En el mismo se utilizó el método Ward y como medida de similitud, la distancia euclidiana al cuadrado. Para estos análisis se empleó el paquete estadístico SPSS 15.0 para Windows.

Se consideraron las dos temporadas climáticas predominantes (lluviosa y poco lluviosa) teniendo en cuenta que entre los atributos que influyen en el tipo de expresión de síntomas eutróficos dentro de sistemas costeros, se incluye al tiempo de residencia del agua (NRC, 2000; Cloern, 2001; Boesch, 2002). Según Muñoz & Díaz (2008), en la temporada lluviosa, esta bahía tiene un tiempo de intercambio medio de tres días; mientras en la temporada poco lluviosa, el tiempo de intercambio medio alcanza hasta 47 días.

Los muestreos se llevaron a cabo mediante cuatro campañas realizadas en el 2009 (abril, junio, octubre y

noviembre) durante el vaciante de marea, en 14 estaciones hidrológicas comprendidas en la red del programa de monitoreo existente para este sistema, las cuales fueron ubicadas fundamentalmente en el perfil central y en las áreas del sistema más propensas a recibir la incidencia de los aportes fluviales; así como de la actividad industrial y urbana (Fig. 1). Se utilizaron botellas Nansen para las colectas, que fueron en el nivel superficial (0,5 m) para la clorofila *a* (Cl. *a*) y los nutrientes: nitrito (N-NO₂⁻), nitrato (N-NO₃⁻) y amonio (N-NH₄⁺) y fosfato (P-PO₄³⁻).

La cuantificación de los parámetros hidrológicos se realizó en el laboratorio del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC). El nitrito, nitrato y el amonio se determinaron según Grasshoff (1999); mientras el análisis de los fosfatos se realizó a partir de una modificación expuesta por Koroleff, del método de Murphy & Riley, en *Standard chemical methods for marine environmental monitoring. Manual and Guides* (1991). La determinación de la clorofila *a* requirió la toma de muestras de 1 L, las cuales se filtraron al vacío con filtros Whatman GF/C. La extracción de los pigmentos se realizó por maceración de los filtros con acetona al 90 % y después se dejaron en reposo, en refrigeración y a la oscuridad, por 24 h, de acuerdo con la metodología descrita en *Standard methods for examination of water and wastewater* (1998). Los extractos se centrifugaron y se leyó la absorbancia en un espectrofotómetro a las longitudes de onda establecidas por *Standard chemical methods for marine environmental monitoring. Manual and Guides* (1991).

En el análisis de los valores de la Cl. *a* también se utilizó la escala de clasificación expuesta por Contreras *et al.* (1994), la cual está basada en el uso del índice propuesto por Carlson (1977), que propone una expansión en los intervalos de la concentración del pigmento (TABLA 1). Esta escala ha sido empleada por Regadera *et al.* (2006) y Reyes (2008) para la evaluación de sistemas acuáticos cubanos.

TABLA 1. Propuesta de clasificación del estado trófico según Contreras *et al.* (1994)

Ampliación propuesta para los niveles tróficos		
Categorías	Intervalo en la conc. de Cl. <i>a</i> (µg/L)	Índice trófico
Ultraoligotrófico	0,000-0,122	0-9
a Oligotrófico	0,123-0,340	10-19
b Oligotrófico	0,350-0,940	20-29
g Oligotrófico	0,950-2,600	30-39
a Mesotrófico	2,700-7,200	40-49
b Mesotrófico	7,300-20,000	50-59
a Eutrófico	21,000-55,000	60-69
b Eutrófico	56,000-155,000	70-79
g Eutrófico	156,000-425,000	80-89
Hipereutrófico	> 426,000	> 90

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de la frecuencia del uso de variables para evaluaciones de estados tróficos de las aguas marinas y estuarinas (Fig. 2), reflejó que de 18 aplicaciones de índices consultadas, la variable más considerada (72 %) resultó la clorofila *a*.

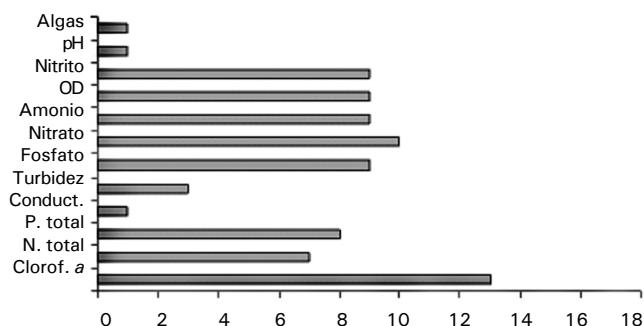


Fig. 2. Frecuencia de uso de parámetros en aplicaciones de los índices de estados tróficos.

Los resultados no mostraron correlaciones significativas entre los niveles de clorofila *a* y NI ($r = 0,06, p > 0,05$) y PID ($r = 0,358, p > 0,05$) obtenidos en la temporada poco lluviosa. Sin embargo, durante la temporada lluviosa, entre la variable respuesta analizada y PI se obtuvo una correlación significativa ($r = 0,596, p < 0,01$) aunque el valor no fue elevado. Estos resultados están en correspondencia con lo expuesto en US-EPA (2001), acerca de que estos dos tipos de variables (causales y respuesta) pueden no correlacionarse bien, vinculado a una respuesta no inmediata del sistema acuático a los cambios de nutrientes.

Los resultados del análisis de conglomerados arrojaron fundamentalmente dos grupos de estaciones en la temporada poco lluviosa (Fig. 3). Uno de ellos, solo es representado por la E9, ubicada en la zona industrial de la ciudad de Cienfuegos; mientras el otro lo conforman las restantes estaciones y dentro de estas las estaciones E8 y E10 muestran una ligera diferencia.

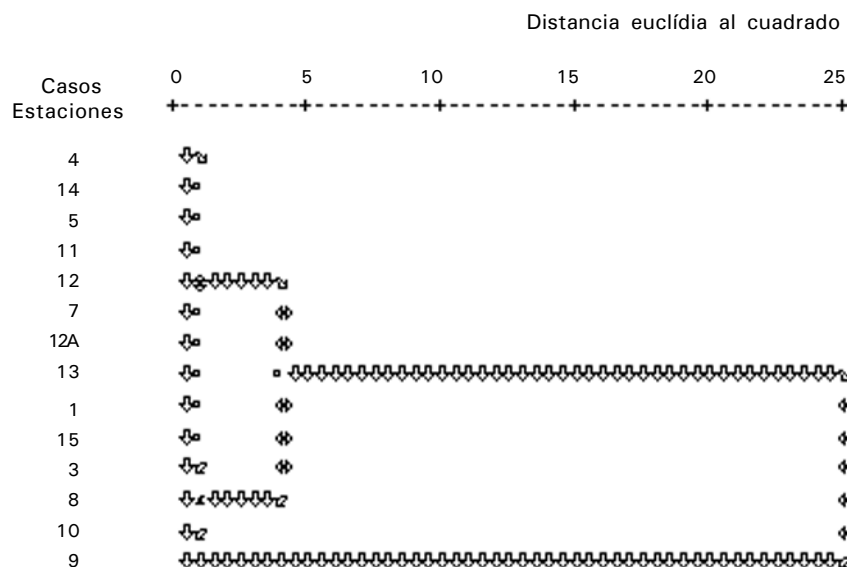


Fig. 3. Dendrograma para el agrupamiento de las estaciones según los niveles de clorofila *a* en la temporada poco lluviosa.

La distinción de la E9 está vinculada con los altos niveles de Cl. *a* que presenta respecto al resto de la bahía (TABLA 2), los cuales según la clasificación de Contreras *et al.* (1994) y Bricker *et al.* (2003) son representativas de condiciones eutróficas ($\geq 21 \mu\text{g/L}$) de las aguas.

Si se tiene en cuenta que el tiempo de residencia puede influir en que las respuestas no ocurran de forma inmediata con los cambios en las concentraciones de nutrientes, vale destacar que el tiempo de residencia en la temporada poco lluviosa es alto según criterios

expuestos por Cardoso & Carmona (2004), lo cual puede representar mayor riesgo de eutrofización (Herrera, 2006). La obtención de altas concentraciones de Cl. *a* en la estación E9 pudiera estar reflejando la acumulación de impactos, tanto de la incidencia de actividades industriales que recibe el área en cuestión, como la de los aportes fluviales (río Salado y arroyo Inglés) que inciden en áreas vecinas (E8 y E10) y cuyas cargas de nutrientes de acuerdo con un estudio realizado por Seisdedo & Arencibia (2009) reflejan el 64 % de la carga

total generada por esta vía, que resultó ser la de mayor porcentaje. Esto último también puede estar vinculado con la ligera diferencia mostrada en un mismo grupo entre estas dos estaciones, cuyas concentraciones reflejan condiciones mesotróficas, a diferencia de las restantes, que también muestran condiciones oligotróficas.

En cuanto a la temporada lluviosa, de manera similar, se obtuvieron dos grupos de estaciones. El primer grupo conformado mayormente por estaciones del lóbulo norte (E7, E8, E9, E10, E12, E12A) y por la E14, con incidencia del río Arimao; mientras las restantes se agrupan en el segundo grupo (Fig. 4).

TABLA 2. Evaluación del estado trófico de las aguas de la Bahía de Cienfuegos según Contreras (1994)

Estaciones	Temporada poco lluviosa	Temporada lluviosa
E1	1,16-2,1 γ Oligo	1,77-3,86 γ Oligo- α Meso
E3	0,73-1,84 β Oligo- γ Oligo	2,56-4,55 γ Oligo- α Meso
E4	0,73-4,02 β Oligo- α Meso	2,36-6,12 γ Oligo- α Meso
E5	1,39-4,19 γ Oligo- α Meso	2,79-5,95 α Meso
E7	2,34-4,36 γ Oligo- α Meso	5,78-7,30 α Meso- β Meso
E8	3,71-9,95 α Meso- β Meso	4,23-8,93 α Meso- β Meso
E9	4,21-38,17 α Meso- α Eutro	4,50-6,40 α Meso
E10	6,17-11,85 α Meso- β Meso	6,63-10,76 α Meso- β Meso
E11	3,08-5,25 α Meso	1,68-6,61 γ Oligo- α Meso
E12	3,49-4,43 α Meso	5,49-6,63 α Meso
E12A	1,97-2,94 γ Oligo	3,35-6,81 α Meso
E13	2,4-3,45 γ Oligo- α Meso	2,25-6,44 γ Oligo- α Meso
E14	0,95-3,74 γ Oligo- α Meso	2,78-10,42 α Meso- β Meso
E15	1,59-2,11 γ Oligo	1,99-5,90 γ Oligo- α Meso

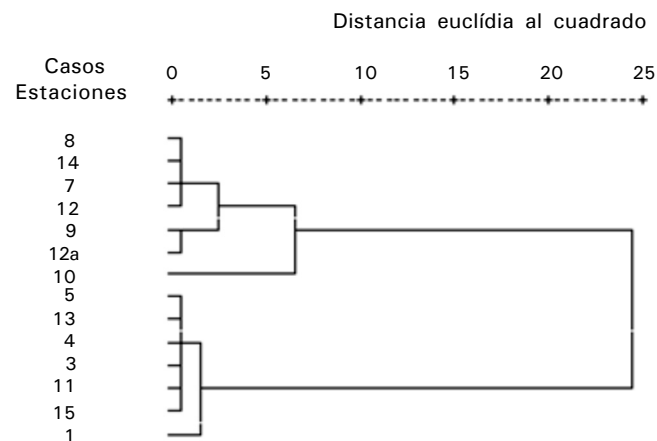


Fig. 4. Dendrograma para el agrupamiento de las estaciones según los niveles de clorofila *a* en la temporada lluviosa.

El primer grupo responde a aquellas estaciones que muestran solamente condiciones mesotróficas, y engloba a las estaciones que reciben los aportes fluviales con las mayores cargas de nutrientes, donde se destaca el Arimao, que es el segundo en cuanto a carga; así como a estaciones con incidencia de importantes drenajes de aguas albañales y domésticas de una parte de la ciudad de Cienfuegos.

Respecto al río Damují, cuya influencia se muestra mediante la estación E7, es válido señalar que este

cuenta con los embalses Abreus y El Salto, que limitan los aportes de nutrientes de este sistema fluvial a la bahía; no obstante, durante la temporada lluviosa (TABLA 3), los vertimientos del agua embalsada pueden estar incorporando una mayor carga orgánica que incluye además la vegetación acuática arrastrada desde este sistema y esto pudiera estar influyendo en el incremento en magnitud de la respuesta analizada.

TABLA 3. Resultados de los nutrientes en las aguas de la Bahía de Cienfuegos por temporada climática en el 2009

Nutrientes ($\mu\text{mol/L}$)	Lóbulo Norte		Lóbulo Sur	
	Temporada poco lluviosa	Temporada lluviosa	Temporada poco lluviosa	Temporada lluviosa
NI	3,71- 7,93	3,64-6,14	3,71-11,8	3,64-6,36
PI	0,52-9,32	0,48-9,32	0,48-0,97	0,48-0,97

La no constatación de condiciones eutróficas en ninguna de las estaciones durante la temporada lluviosa, pudiera deberse a la limitación del NI, ya que a diferencia de la temporada poco lluviosa no se obtienen estaciones con relaciones NI/PI > 16 (TABLA 4). También el bajo tiempo de residencia puede estar influyendo, ya que según *Nutrient*

Criteria Technical Guidance Manual. Estuarine and Coastal Marine Waters. (2001). En U.S. Environmental Protection Agency. (Office of Water4304.EPA-822-B-01-003). (2001), cuando es menor que el tiempo de división celular de las algas, inhibe la formación de florecimiento de algas.

TABLA 4. Resultados de la relación de NI/PI en las aguas de la Bahía de Cienfuegos por temporada climática en el 2009

NI/PI	Lóbulo Norte		Lóbulo Sur	
	Temporada poco lluviosa	Temporada lluviosa	Temporada poco lluviosa	Temporada lluviosa
	0,41-15,4	0,43-11,6	4,89-22,8	5,23-9,13

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio sugieren que las concentraciones de clorofila *a* en las aguas de la Bahía de Cienfuegos no reflejan de manera inmediata los cambios de las concentraciones de nutrientes.

El análisis de los niveles de Cl. *a* mostró la conformación de dos grupos de estaciones de esta bahía para las dos temporadas climáticas consideradas. Las estaciones cuyas respuestas fueron de mayor magnitud corresponden al lóbulo norte que se caracteriza por ser el más antropizado.

La obtención de forma puntual de condiciones eutróficas durante la temporada poco lluviosa, a diferencia de la temporada lluviosa, puede estar vinculada a la limitación del NI en las aguas y a la influencia de atributos del sistema, como el tiempo de residencia de las aguas, el cual varía por temporada climática.

AGRADECIMIENTOS

A los especialistas y técnicos del laboratorio del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos que contribuyeron

a esta investigación mediante la realización de los muestreos y ensayos analíticos.

REFERENCIAS

- Boesch, D. F. (2002). Challenges and opportunities for science in reducing nutrient over-enrichment of coastal ecosystems. *Estuaries*, 25, 744-758.
- Bricker, S. B., Ferreira, J. G. & Simas, T. (2003). An integrated methodology for assessment of Estuarine Trophic Status. *Ecological Modelling*, 169, 39-60.
- Cardoso, M. & Carmona, A. (2004). Environmental Indicators as tools for the management of estuaries- Methodology and the case study of the Tejo Estuary. *Journal of Coastal Conservation*, 10, 13-24.
- Carlson, R. E. (1977). A trophic state index of lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 22 (2), 361-368.
- Cloern, J.E. (2001). Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Progress Serie*, 210, 223-253.
- Contreras, F., Castañeda, O. & García, A. (1994). La clorofila *a* como base para un índice trófico en lagunas costeras mexicanas. *An. Inst. Cienc. Mar y Limnol. Univ. Nac. Autón.*, 21 (1-2), 55-66.
- Dettmann, E. H. (2001). Effect of water residence time on annual export and denitrification of nitrogen in estuaries: a model analysis. *Estuaries*, 24, 481-490.
- Grasshoff, K. (1999). *Methods of Seawater Analysis* (3ª ed.).
- Herrera, J. A. (2006). Lagunas costeras de Yucatán (SE, México): Investigación, diagnóstico y manejo. *ECOTROPICOS. Sociedad Venezolana de Ecología*, 19 (2), 94-108.
- Karydis, M., Ignatiades, L. & Moschopoulou, N. (1983). An Index associated with Nutrient Eutrophication in the Marine Environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 16, 339-344.
- Muñoz, A. & Díaz, O. (2008, marzo). Los modelos matemáticos en la gestión del medio ambiente costero y su aplicación a la Bahía de Cienfuegos, Cuba. Ponencia presentada en el V Taller Internacional de Contaminación y Medio Ambiente, La Habana, Cuba.
- Nutrient Criteria Technical Guidance Manual. Estuarine and Coastal Marine Waters.* (2001). En U.S. Environmental Protection Agency. (Office of Water4304.EPA-822-B-01-003).
- Paytan, A. & McLaughlin, K. (2007). The Oceanic Phosphorus Cycle. *Chem. Rev.*, 107, 563-576
- Primpas, I., Tsirtsis, G., Karydis, M & Kokkoris, G. D. (2009). Principal Component Analysis: Development of a multivariate index for assessing eutrophication according to the European water framework directive. *Ecological Indicators*, 10 (2), 178-18
- Regadera, R. (2006). Fitoplancton y clorofila-*a* como indicadores de eutrofización en la Bahía de La Habana. Tesis de Maestría, Universidad de La Habana, Cuba.
- Reyes, T. T. (2008). Niveles de eutrofización en las bahías de La Habana, Mariel, Matanzas, Cárdenas y Puerto Padre, Cuba. Tesis de Diploma. Universidad de La Habana, Cuba.
- Seisdedo, M. & Arencibia, G. (en prensa). Estimación de las cargas contaminantes de nutrientes en la Bahía de Cienfuegos. *Rev. Transporte, Medio Ambiente y Desarrollo*.
- Standard chemical methods for marine environmental monitoring. Manual and Guides.* (1991). Intergovernmental Oceanographic Committee, No. 12.
- Standard methods for examination of water and wastewater* (20th ed.) (1998). USA: American Public Health Association.
- Villasol, A. (1990). Estudios de la contaminación en la Bahía de Cienfuegos. La Habana: Ministerio del Transporte.
- Vollenweider, R. A., Giovanardi, F., Montanari, G. & Rinaldi, A. (1998). Characterization of the Trophic Conditions of Marine Coastal Waters with Special Reference to the NW Adriatic Sea: Proposal for a Trophic Scale, Turbidity and Generalized Water Quality Index. *Environmetrics*, 9, 329-357.