

# ANÁLISIS COMPARATIVO DEL ESTADO TRÓFICO DE LAS AGUAS EN LA COSTA ORIENTAL DE LA PROVINCIA DE CIENFUEGOS, CUBA.

Mabel Seisdedo <sup>1</sup>, Angel Moreira <sup>1</sup>, Gustavo Arencibia <sup>2</sup> e Iván Pérez <sup>2</sup>

(1) Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC), Calle 17 esq. Ave 46 s/n. Rpto Reina, Cienfuegos, CP 55100, Cuba.

(2) Centro de Investigaciones Pesqueras, 5<sup>ta</sup> Ave y Calle 246, Municipio Playa, CP 17100, Ciudad Habana, Cuba.

(\*) Autor correspondiente: Email: [mabel@gestion.ceac.cu](mailto:mabel@gestion.ceac.cu)

## RESUMEN

El propósito de este trabajo es evaluar el estado trófico de las aguas en la costa oriental de la provincia de Cienfuegos, a partir de las concentraciones de nutrientes y del fitoplancton. Se utilizaron dos métodos de evaluación del estado trófico y se consideraron los resultados de nitrógeno inorgánico (NI), fósforo inorgánico (FI), Si y fitoplancton, los cuales se obtuvieron durante cuatro campañas de muestreo llevadas a cabo en el período 2006-2007. Se analizó la proporción elemental disponible Si/NI según criterio de Redfield, así como también se obtuvieron los coeficientes de correlaciones entre las concentraciones de nutrientes y fitoplancton. Los resultados mostraron al Si como el nutriente más disponible en el área de estudio y a las diatomeas como el grupo de fitoplancton predominante; sin embargo, sus concentraciones no se correlacionaron significativamente, lo cual pudiera deberse a una respuesta no inmediata de este indicador biológico al cambio de nutriente. Las evaluaciones del estado trófico mostraron correspondencia entre los niveles de fitoplancton y de nutrientes; así como poco impacto en la calidad de las aguas de esta zona costera, desde el punto de vista trófico.

Palabras clave: estado trófico; nutrientes; fitoplancton; zona costera; ASW, Cuba.

## ABSTRACT

The purpose of this work is to assess the trophic status of waters in the east coast of the Cienfuegos province, from the nutrients and phytoplankton concentrations. Two methods of assessment of the trophic status were used and it were considered the results of inorganic nitrogen (IN), inorganic phosphorus (IP) and Si, which were obtained during four sampling campaigns carried out in the period 2006-2007. The available elementary proportion Si/IN was analyzed according to criterion of Redfield, as well as the correlation coefficients among the nutrients and phytoplankton concentrations were obtained. The results showed to the Si as the most available nutrient in the study area and to the diatoms like the phytoplankton group predominant; however, their concentrations were not correlated significantly and it could be due to a non immediate response of this biological indicator to the nutrient change. The assessments of the trophic status showed correspondence among the phytoplankton and nutrients levels; as well as little impact in the water quality of this coastal area, from the trophic point of view.

Key words: trophic status; nutrients; phytoplankton; coastal zone; ASW, Cuba.

En los últimos 20 años, científicos, gestores y autoridades públicas, han reconocido que los ecosistemas costeros sufren diferentes problemas ambientales, como consecuencia de una compleja cadena de eventos que varían de un sitio a otro, y que pueden en parte, ser atribuidos al enriquecimiento de los nutrientes (NRC, 2000, Tett *et al.*, 2003).

El estudio de la eutrofización y otros procesos de deterioro de la calidad de las aguas, en países que se encuentran en vías de desarrollo resultan necesarios teniendo en cuenta, que los aportes de nutrientes pueden ser importantes debido a que los sistemas de tratamiento de desechos sólidos y

líquidos, todavía no existen y/o son poco eficientes (Seeliger y Kjerfve, 2001).

La aplicación de índices que incluyen el análisis de nutrientes resulta muy beneficiosa para el estudio de este proceso (Vollenweider *et al.*, 1998; López-Cortés *et al.*, 2003; Coelho *et al.*, 2007). También, las concentraciones de grupos taxonómicos de fitoplancton han sido usadas como indicadores de calidad de agua, sobre la base de su respuesta a cambios en las concentraciones de nutrientes (Coelho *et al.*, 2007).

A pesar de la importancia que recibe la evaluación del estado trófico de las aguas costeras, resultan

escasos los trabajos realizados en Cuba con este propósito (ej: Reyes, 2008 y Seisdedo *et al.*, 2009) y mayormente enfocan a las bahías. Considerando que la zona costera del Caribe se ha convertido en los últimos años en objeto de estudio por la necesidad de consolidar un manejo integrado de la misma y que el litoral oriental de la provincia de Cienfuegos es un área que ha contado con escasos estudios de la calidad de sus aguas, este trabajo tiene como objetivo evaluar el estado trófico de las aguas de esta zona costera, a partir de las concentraciones de nutrientes y del fitoplancton.

## MATERIAL Y MÉTODO

Se estudia el área comprendida entre Punta Las Coloradas y la desembocadura del río Cabagán, con una longitud de costa de 50 Km. (Fig. 1). Entre sus usos, se destacan el pesquero y el uso turístico – recreativo. También, está presente la influencia de diversos ríos (Arimao, San Juan, Gavilanes, Yaguanabo, Río Hondo y Cabagán) que desembocan en esta área.

Se realizaron cuatro campañas de muestreo (oct./2006, nov./2006, feb./2007 y jun./2007), correspondientes a la temporada lluviosa (mayo-oct.), con valor promedio de precipitaciones para el 2006, de 154.2 mm y a la poco lluviosa (nov.-abril), con 31.6 mm según reporte de la ONE (2006), dada la importancia que tiene la estacionalidad climática en estudios de calidad de las aguas costeras en Cuba (Villa *et al.*, 2003; Beltrán *et al.*, 2006).

Se colectaron muestras de agua en 10 estaciones, en el nivel subsuperficial (0.5 m) de la columna de agua (Fig. 1), para ello se utilizó una botella Nansen de 5 L. Las muestras para la determinación de nutrientes fueron preservadas a 4°C hasta su posterior análisis.

Las determinaciones de nutrientes se realizaron por duplicado en el Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC). Los nutrientes: nitratos, nitrito, amonio, fósforo inorgánico y silicato se cuantificaron mediante las metodologías propuestas por UNESCO (1983) y UNEP (1991).

Para el análisis del fitoplancton, el volumen de muestra total colectado fue de 1 L y la fijación se efectuó inmediatamente con lugol ácido (Parson *et al.*, 1984). Se empleó el método de sedimentación por 10 días. Para la identificación de las muestras se utilizó una cámara de conteo Rigosha y un

microscopio biológico OLYMPUS BH-2, con aumento de 100X, 250X y 400X.

Para evaluar el estado trófico se utilizó el índice de eutrofización (IE) propuesto por Karydis *et al.* (1983), ya que solo requiere las concentraciones de nutrientes, a diferencia del índice trófico TRIX (Vollenweider *et al.* 1998) que además requiere la concentración de clorofila *a*, parámetro que no se determinó en este estudio.

Se estimó el IE por campaña, para el nitrógeno inorgánico ( $N-NH_4^+ + N-NO_2^- + N-NO_3^-$ ), fósforo inorgánico ( $PO_4^{3-}$ ) y Si ( $Si-SiO_2$ ), basado en la siguiente ecuación:

$$EI = \frac{C}{C - \log x_i} + \log A$$

donde:

IE: es el índice de eutrofización por nutriente de cada estación de muestreo, para cada campaña de muestreo.

A: es el número de estaciones de muestreo (10)

C: es el logaritmo de la concentración total del nutriente por campaña.

$x_i$ : es la concentración total del nutriente en la estación muestreada.

La escala de clasificación es la siguiente: si **IE**<3 indica estado *oligotrófico*, para **3** ≤ **IE** ≤ **5** es *mesotrófico* y para **IE**>5 es *eutrófico*.

También se utilizó la escala de clasificación del estado trófico establecida para el Golfo de Batabanó (Martínez-Canals *et al.*, 2004), la cual se basa en las concentraciones de fitoplancton. Se realizó una comparación entre las evaluaciones del estado trófico obtenidas mediante los dos métodos empleados.

El análisis de la proporción elemental disponible para los organismos se realizó según criterio Si:N=1, propuesto por Redfield (1958). Debido a que más del 90 % de las determinaciones del fósforo inorgánico (PI) fueron inferiores al límite de cuantificación (0,52  $\mu\text{molL}^{-1}$ ), no se realizó el análisis de las proporciones N:P=16 y Si:P=16, aunque dicho valor fue considerado para la determinación de los valores de IE.

Luego de comprobar mediante la prueba de Kolmogorov- Smirnov, la no distribución normal de los datos por temporada climática, se realizó un análisis de correlaciones no paramétricas (Spearman) entre las concentraciones de nutrientes (NI y Si) y del fitoplancton. Para estos análisis se empleó el paquete estadístico SPSS 15.0 para Windows.

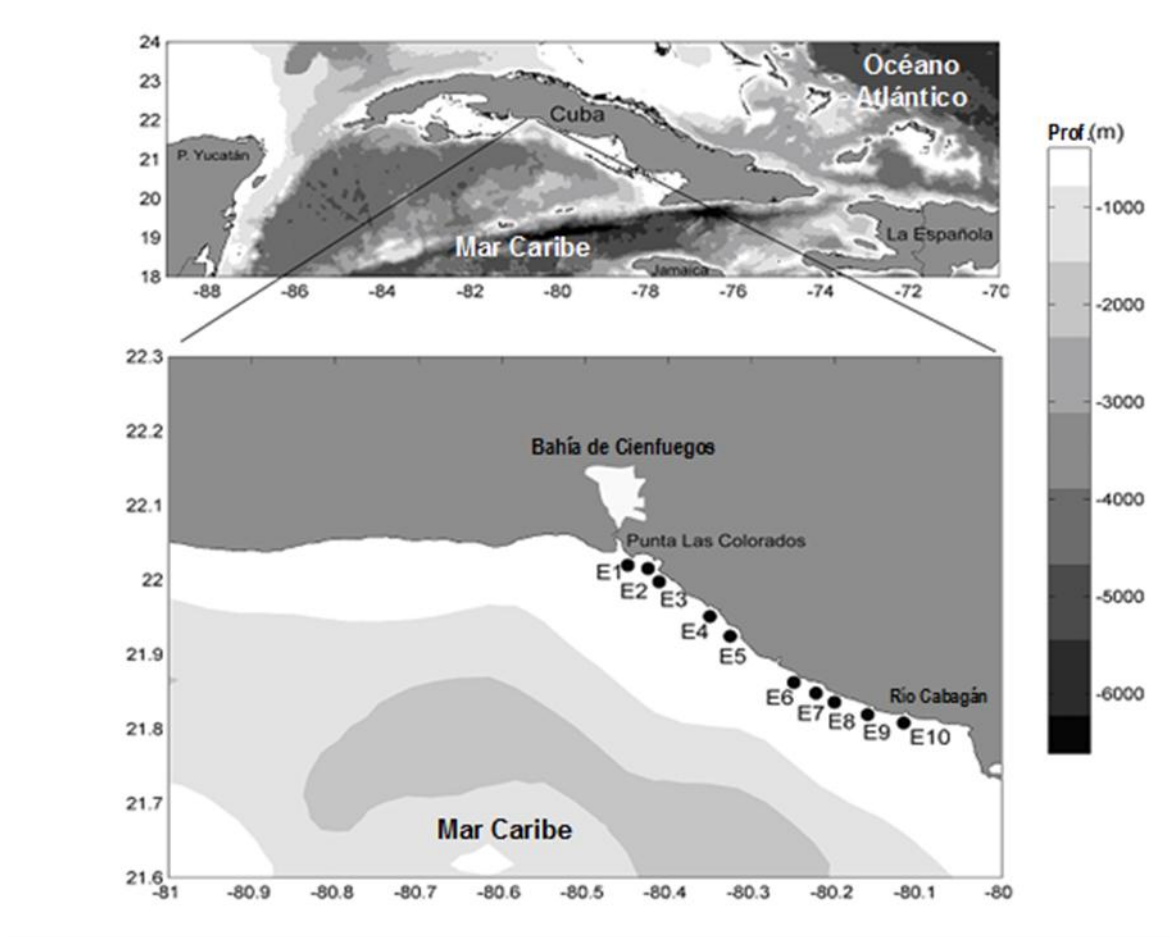


Fig. 1. Área de estudio y red estaciones muestreadas en la costa oriental de la provincia de Cienfuegos

## RESULTADOS

Los valores de IE obtenidos para el NI y para el PI indicaron condiciones oligotróficas de las aguas en todas las campañas de muestreo. Sin embargo, los valores de IE de Si mostraron condiciones mesotróficas, excepto en feb/07 donde resultaron oligotróficas (Tabla 1, Fig. 2). La desviación estándar de los valores de IE por campaña fue menor en feb/07 y mayor en jun/07, tanto para el NID y el Si. Este último nutriente mostró mayor variación de los valores de IE en todo el periodo analizado.

Las concentraciones de NI en el periodo analizado variaron entre cantidades no cuantificables y  $14.2 \mu\text{mol.L}^{-1}$ , este valor máximo se obtuvo en jun/07, en la estación 10 (próxima a la desembocadura del Río Cabagán). En cuanto al PI, el 90% de los resultados fueron inferiores al límite de cuantificación y el valor máximo ( $1.0 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ) correspondió a la estación 1 (próxima a la entrada

de la bahía), en oct/06; mientras las concentraciones de Si variaron entre  $0.9$  y  $56.4 \mu\text{mol.L}^{-1}$  (Tabla 1), el valor mínimo se obtuvo en feb/07, en la estación 2 (playa Rancho Luna), y el valor máximo, en jun/07, en la estación 10.

Las proporciones de Si:NI resultaron en oct/06 y jun/07, en un 100% superiores al criterio de Redfield (1958); sin embargo, en nov/06 el 40% fueron inferiores y en feb/07, el 10% (Fig. 3). Desde el punto de vista espacial, se obtuvieron en las estaciones 4, 8 y 10, valores de Si:NI > 1 en todas las campañas.

Las concentraciones de fitoplancton variaron entre  $0.2$  y  $235 \times 10^3 \text{ cél.L}^{-1}$ , los mayores valores promedios se obtuvieron en oct/06 y jun/07, con  $26.1 \times 10^3 \text{ cél.L}^{-1}$  y  $10.2 \times 10^3 \text{ cél.L}^{-1}$ , respectivamente (Tabla 2). Las diatomeas fue el grupo taxonómico dominante por campaña, excepto en oct/06, donde se registró una alta concentración de dinoflagelados en la estación 3,

Tabla 1. Concentraciones de nutrientes y clasificación del estado trófico según IE, por campaña de muestreo, en la costa oriental de la provincia de Cienfuegos.

Nutrientes	Campañas	Media	Intervalo	DE	Clasif.
NI ( $\mu\text{molL}^{-1}$ )	Oct/06	5.9	NC - 9.7	2.3	oligo
	Nov/06	7.2	3.7- 12.2	2.9	oligo
	Feb/07	3.8	NC - 5.0	0.4	oligo
	Jun/07	5.2	NC - 14.2	3.3	oligo
PI ( $\mu\text{molL}^{-1}$ )	Oct/06	0.6	NC - 1.0	0.2	oligo
	Nov/06	NC	-	-	oligo
	Feb/07	NC	-	-	oligo
	Jun/07	0.5	NC - 0.5	-	oligo
Si ( $\mu\text{molL}^{-1}$ )	Oct/06	18.0	6.6- 49.3	14.3	meso
	Nov/06	13.1	4.2- 36.2	11.3	meso
	Feb/07	8.0	0.9- 28.7	7.6	oligo
	Jun/07	14.8	1.0 - 56.4	17.5	meso

NC: no cuantificable

producida por la especie *Gymnodinium simplex*, que influyó en la obtención del valor máximo de todo el período estudiado. Las mayores concentraciones de fitoplancton estuvieron determinadas por diatomeas del Orden Pennales como *Grammatophora marina*, *Stauraphora descipiens*, *Diploneis* sp. y *Cocconeis* sp.

La evaluación del estado trófico mediante la escala fitoplanctónica propuesta por Martínez-Canals *et al.* (2004) mostró como promedio, condiciones oligotróficas ( $< 80 \times 10^3$  cél.L<sup>-1</sup>) en todas las campañas y desde el punto de vista espacial, las condiciones variaron entre oligotróficas y oligotróficas/mesotróficas ( $80 - 350 \times 10^3$  cél. L<sup>-1</sup>).

Respecto al análisis de correlaciones, solo se obtuvo una correlación significativa, con un valor de coeficiente negativo ( $r=-0.653$ ,  $p<0.01$ ) entre las concentraciones de NI y del fitoplancton obtenidas en la temporada poco lluviosa.

## DISCUSIÓN

Tanto los resultados del IE, como los de la relación Si/NI $>1$  muestran al Si, en casi todo el período estudiado, como el nutriente más disponible en esta área de estudio, lo cual estimula el desarrollo de las diatomeas, según criterio expuesto por Álvarez-Cóngora *et al.* (2006).

La obtención de los mayores porcentajes de estaciones con una relación de Si:NI $>1$ , en oct/06 y en jun/07, muestran a estas campañas, representativas de la temporada lluviosa, como las de mayor disponibilidad del Si. También, la obtención en las estaciones 4, 8 y 10 de Si:NI $>1$  en todas las campañas realizadas, pudiera asociarse a la contribución de Si por medio de los sistemas fluviales, lo cual coincide con lo reportado por De la Lanza y Cáceres (1994).

La correlación significativa obtenida entre las concentraciones de NI y del fitoplancton que corresponden a la temporada más seca, indica la presencia de mayor abundancia de fitoplancton cuando menores son las concentraciones de este nutriente. Esto pudiera explicarse si se tiene en cuenta que una menor disponibilidad de NI no favorece el desarrollo de grupos fitoplanctónicos como el de los dinoflagelados y las diatomeas resulten el grupo predominante en esta temporada.

Si bien es incongruente la obtención de una mayor abundancia de diatomeas durante la campaña cuyo estado trófico en base al Si fue más pobre (oligotrófico), este resultado puede estar indicando que la respuesta de este indicador biológico al cambio del nutriente, no es inmediata. En este sentido, se han abordado (US-EPA, 2001) diferencias entre variables causales (ej: nutrientes)

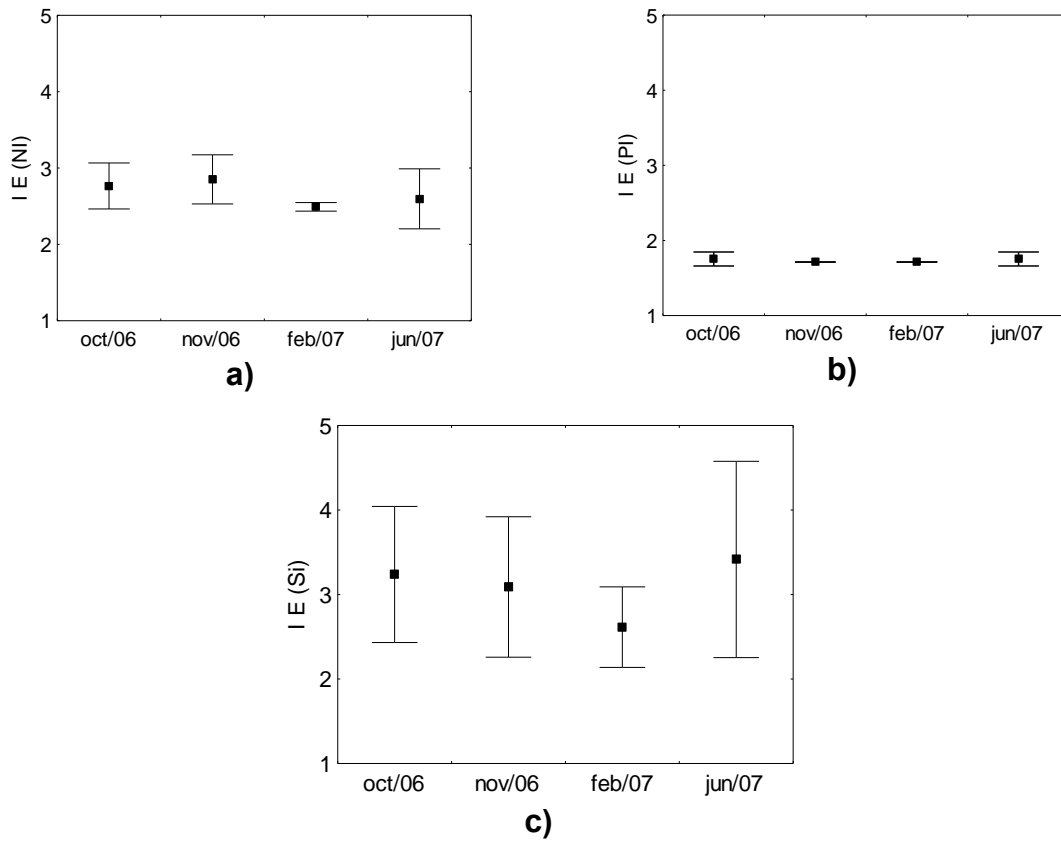


Fig. 2. Índice de Eutrofización por nutriente (IE) ± DE (desviación estándar): a) del NI (N-NH<sub>4</sub><sup>++</sup>+N-NO<sub>2</sub>-+N-NO<sub>3</sub>-), b) del PI (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) y c) del Si (Si-SiO<sub>2</sub>), para las temporadas climáticas: lluviosa y poco lluviosa, en las aguas del litoral oriental de la provincia de Cienfuegos (N=10).

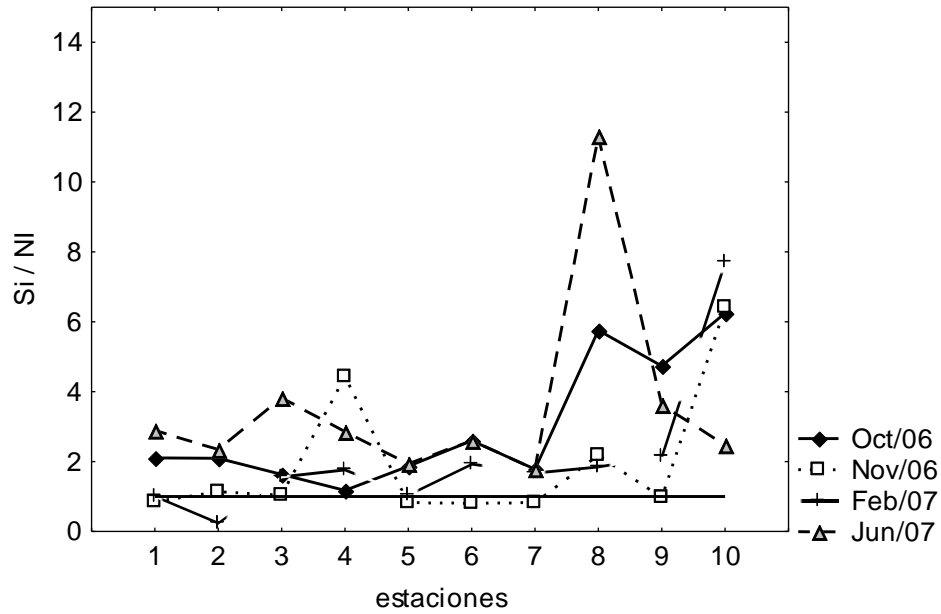


Fig. 3: Distribución espacial y temporal de las relaciones Si/Ni en el área de estudio

Tabla 2. Concentraciones de fitoplancton total y por grupos taxonómicos (en  $10^3$  cél.  $L^{-1}$ ) por campaña de muestreo.

	Oct/06		Nov/06		Feb/07		Jun/07	
	media	Interv.	media	Interv.	media	Interv.	media	Interv.
Fitoplancton Total	26.1	0.5-235.0	1.5	0.2-4.2	30.9	3.9-91.7	10.2	3.5-35.0
Diatomeas	2.4	0.5-10.4	1.1	0.2-3.8	20.9	3.9-58.3	7.4	3.5-28.0
Dinoflagelados	23.6	0.3-229.0	0.3	0.2-1.0	5.6	3.6-16.7	3.2	1.8-5.3
Cianobacterias	0.03	0-0.3	0.02	0-0.2	0.4	0-3.6	-	-
Euglenoficeas	-	-	0.05	0-0.5	1.2	0-8.3	-	-
Criptoficeas	0.05	0-0.5	0.05	0-0.5	2.8	0-16.7	0.4	0-1.8

y variables respuestas (ej: clorofila *a*), así como que éstas pueden no correlacionarse bien en determinados sistemas acuáticos.

La presencia de mayor variabilidad de las condiciones tróficas, principalmente para el NI y el Si, en jun/07, puede estar sugiriendo una mayor diferencia en los aportes de estos nutrientes en la temporada lluviosa, debido a las diferentes características de las estaciones muestreadas, las cuales varían desde áreas sin influencia fluvial (estación 2) hasta zonas estuarinas (las estaciones 8 y 10). La incorporación de nutrientes a través de los aportes fluviales ha sido expresada por algunos autores (De la Lanza y Cáceres, 1994, NRC, 2000; Beltrán *et al.* 2006).

La correspondencia entre los estados tróficos obtenidos en las aguas de esta área costera, a partir de dos métodos basados en concentraciones del fitoplancton y de nutrientes, respectivamente, evidencia la relación que existe entre estas características bióticas y abióticas (Cloern, 2001). También, ambas evaluaciones muestran el bajo impacto que reciben las aguas de esta zona costera desde el punto de vista trófico; a diferencia de otros sistemas como la bahía de Habana, con alto estado trófico (Reyes, 2008), que además de tener la influencia de sus usos, presenta menor intercambio de sus aguas por ser semicerrada.

## CONCLUSIONES

-Los resultados mostraron al Si como el nutriente más disponible en el área de estudio y a las diatomeas como el grupo fitoplanctónico predominante; sin embargo, sus concentraciones no se correlacionaron significativamente, lo cual pudiera deberse a una respuesta no inmediata de este indicador biológico al cambio del nutriente.

-Las evaluaciones del estado trófico mostraron correspondencia entre los niveles de fitoplancton y de nutrientes; así como poco impacto en la calidad

de las aguas de esta zona costera, desde el punto de vista trófico.

## REFERENCIAS

- Álvarez-Góngora, C. & Herrera-Silveira, J.A. 2006. Variations of phytoplankton community structure related to the water quality in a tropical karstic coastal zone. *Marine Pollution Bulletin*, 52: 48-60.
- Beltrán, J., Martín, A., Mancebo, H., Regadera, R., Ruiz, F., Torres, I., Pérez, O., Rosabal, M., Solar, F. & Rodríguez, R. 2006. Control de la calidad ambiental del ecosistema marino del litoral de la Ciudad de la Habana. Cuba, la Habana, *Memorias del VII Congreso de Ciencias del Mar*, 199 pp.
- Cloern, J.E. 2001. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Progress Series* (210): 223-25.
- Coelho, S, Gamito, S. & Pérez-Ruzafa, A. 2007. Trophic state of Foz de Almargem coastal lagoon (Algarve, South Portugal) based on the water quality and the phytoplankton community. *Estuarine coastal and Shelf Science*, 71(1-2): 218-231.
- 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.
- López-Cortés, D.J., Gárate, I., Bustillos, J.J., Alonso, R. & Murillo, I. 2003. Variabilidad del estado trófico y la biomasa del fitoplancton en la Bahía Concepción, Golfo de California (1997-1999). *Hidrobiología* 13(3): 195-206.
- De la Lanza, G. & Cáceres, C. 1994. *Lagunas costeras y el litoral Mexicano*. México, Universidad Autónoma de Baja California Sur, pp:75-186.

- Martínez-Canals, M., Montalvo, J., Miravet, M.E., Lugiyo, M., Loza, S. & Pérez, R. 2004: *Evaluación de las zonas de impacto antrópico del Golfo de Batabanó*. Informe final, Archivo Científico Instituto de Oceanología, 104 pp.
- NRC (National Research Council). 2000. *Clean Coastal Waters. Understanding and Reducing the Effects of Nutrient Pollution*. National Academy of Science, National Academic Press, Washington, D.C., USA., 405 pp.
- ONE. 2006. *Anuario Estadístico Provincial*. Cienfuegos, Cuba, 321 pp.
- Parsons, T.R., Maita, Y. & Lalli, C.M. 1984. *A manual of chemical and biological methods for seawater analysis*. New York, Pergamon, 14, 173 pp.
- Redfield, A.C. 1958. The biological control of chemical factors in the environment. *American Scientist* 46: 205-221.
- Reyes, T.T. 2008. Niveles de eutrofización en las bahías de La Habana, Mariel, Matanzas, Cárdenas y Puerto Padre, Cuba. Cuba, Universidad de La Habana, *Trabajo de Diploma*, 64 pp.
- Seeliger, E. & Kjerfve, B. (Eds). 2001. Coastal marine ecosystems of Latin America. *Ecological Studies* 144, 360 pp.
- Seisdedo, M, Herrera, R.H. & Arencibia, G. 2009. Evaluación del estado trófico de las aguas de la Bahía de Cienfuegos, Cuba (2004-2007). *Mapping* 137: 24-28.
- Tett, P., Gilpin, L., Svendsen, H., Erlandsson, C.P., Larsson, U., Kratzer, S., Fouilland, E., Janzen, C., Lee, J., Grenz, C., Newton, A., Gomes Ferreira, J., Fernandes, T. & Scory, S. 2003. Eutrophication and some European waters of restricted exchange. *Continental Shelf Research* 23: 1635-1671.
- UNEP. 1991. Standard chemical methods for marine environmental monitoring. Reference Methods for *Marine Pollution Studies*, No. 50, 41 pp.
- UNESCO. 1983. Chemical Methods for use in Marine Environmental Monitoring. *Manual and Guides*, IOC, 12, 53 pp.
- US-EPA. 2001. Nutrient Criteria Technical Guidance Manual. Estuarine and Coastal Marine Waters. In: *U.S. Environmental Protection Agency*, Office of Water 4304, EPA-822-B-01-003.
- Villa, E., López, D. & Herrera, A. 2003. Calidad de las aguas en el sector costero que comprende los Cayo Megano Grande y Cayo Cruz. Cuba, La Habana, *Memorias del VI Congreso de Ciencias del Mar*, 475 pp.
- Vollenweider, R.A. 1998. Coastal marine eutrophication: principles and control. In: Vollenweider, R.A., Marchetti, R., and Viviani, R. (ed.) *Marine Coastal Eutrophication*. Bologna, Italy. Science of the Total Environment. Elsevier Science. Supplement: 1-20 pp.

Recibido: 7 de diciembre del 2009

Aceptado: 4 de octubre del 2011