

Condiciones hidroquímicas recientes de la zona central del golfo de Ana María, Cuba

Roberto González-De Zayas¹, Julio Antonio Lestayo González¹, Martín Merino-Ibarra² y Fermín Sergio Castillo Sandoval².

¹Centro de Investigaciones de Ecosistemas Costeros. Avenida de los Hoteles S/N. Cayo Coco. Morón. Ciego de Ávila. Cuba. CP: 69400.

²Laboratorio de Biogeoquímica Acuática. Unidad Académica de Ecología y Biodiversidad Acuática. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. Circuito Exterior S/N. Ciudad Universitaria. Coyoacán. México D.F. México. CP. 04500.

RESUMEN

El golfo de Ana María es una de las regiones cubanas con mayor peso en la explotación pesquera y con un futuro promisorio en el turismo. El objetivo de este trabajo fue evaluar hidroquímicamente el sector central del golfo de Ana María. Se determinaron en 38 estaciones los siguientes parámetros: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes, durante la época lluviosa de 2011. Se determinaron las proporciones elementales disponibles NID/PRS y SiRS/NID y el estado trófico de las aguas utilizando un índice de eutrofización. La temperatura fue característica para la época climática, la salinidad fue homogénea en toda el área (entre 36,0 y 37,3), el oxígeno disuelto fue superior a 6,0 mg/L y los nutrientes tuvieron niveles comparables a los de estudios previos en la misma zona y región (NID de $6,9\pm 5,4$ μM , PRS de $0,4\pm 0,2$ μM y SiRS de $4,3\pm 1,6$ μM). Los niveles más elevados de nutrientes estuvieron entre cayo Santa María y cayo Cuervo, donde los procesos regenerativos de nutrientes en las lagunas interiores, así como las precipitaciones, pudieron aportar estos nutrientes hacia las aguas del golfo. Las relaciones fueron de 18/1 para el Nitrógeno Inorgánico Disuelto/Fósforo Reactivo Soluble y de 1 para el Silicato Reactivo Soluble/ Nitrógeno Inorgánico Disuelto por lo que el nutriente limitante fue el Fósforo Reactivo Soluble. El índice de eutrofización calculado fue $2,9\pm 0,5$ usando Nitrógeno Inorgánico Disuelto y $0,9$ usando el Fósforo Reactivo Soluble. Las condiciones hidroquímicas de la zona de estudio fueron características de zonas costeras con intercambio con el mar Caribe oligotrófico y escasos aportes terrígenos (principalmente durante la época de escasas lluvias).

Palabras clave: Cuba, golfo de Ana María, Hidroquímica, índice trófico, nutrientes.

ABSTRACT

Ana Maria gulf is one of Cuban zones with great importance on fisheries and with a tourism promissory future. The objective of this study was to evaluate hydrochemically the central part of Ana Maria gulf. Some water parameters (temperature, salinity, dissolved oxygen and nutrients) were determined at 38 sites during wet season of 2011. Available elementary ratios DIN/RSP and RSSi/DIN and trophic state were determined using a Eutrophic Index. Temperature was characteristic of the climatic season, salinity was homogenous in the whole study area (between 36,0 and 37,3), dissolved oxygen was great than 6,0 mg/L and nutrients had similar levels that previous studies at same part and zone (DIN of $6,9\pm 5,4$ μM , SRP of $0,4\pm 0,2$ μM and SRSi of $4,3\pm 1,6$ μM). The greatest nutrient levels were between Santa Maria key and Cuervo key; where regenerative nutrient process at interior lagoons and rain could be supply these nutrients to waters of Ana Maria gulf. The elementary ratios were 18/1 for DIN/RSP and 1 for RSSi/DIN. The limiting nutrient was RSP. The calculated Eutrophic Index was $2,9\pm 0,5$ using DIN and $0,9\pm 0,1$ using RSP. The hydrochemical conditions of study zone were similar to coastal zones with water exchange with Caribbean Sea and with limited land base contributions (principally during dry season).

Key words: Cuba, Ana Maria gulf, Hydrochemistry, trophic index, nutrients.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo económico de la zona costera a menudo ha traído impactos adversos sobre los valores sociales, económicos y ambientales de la costa (Clark, 1983). Para el "control" de estos impactos adversos se lleva a cabo el monitoreo y la investigación sobre la calidad de las aguas costeras. Estos trabajos se basan fundamentalmente en las características físicas, químicas y biológicas de estas aguas (Clark, 1996). La eutrofización marina es un proceso resultante de la entrada masiva de nutrien-

tes (nitrógeno, fósforo y silicio) procedentes de la disposición de efluentes industriales y urbanos hacia el mar. Los efectos negativos de la eutrofización sobre la calidad ambiental de la zona costera afectan al turismo y a otros sectores económicos (Clark, 1983).

Las causas del declive de los ecosistemas y poblaciones de la fauna marina de la zona sur de Cuba son complejas, interrelacionadas, y en muchos casos no están totalmente claras. Hasta el momento

se señala la sobrepesca como la mayor presión (principalmente por los operadores comerciales), incluyendo la sobrepesca en áreas de agregación y desove durante periodos críticos del ciclo de vida de las especies, combinado con el uso de artes de pesca poco amigables con el medio ambiente como son los chinchorros. Sin embargo, en zonas como el golfo de Batabanó las principales causas señaladas como causantes de su deterioro son la eutrofización y la sedimentación (Perera Valderrama *et al.*, 2010).

El golfo de Ana María se encuentra en la plataforma costera sur de Cuba, extendiéndose en tres provincias (Sancti Spiritus, Ciego de Ávila y Camagüey). Sus aguas han recibido durante años las descargas fluviales y escorrentías superficiales de amplias zonas agrícolas y ganaderas del sur de estas provincias. Hay que señalar que estos flujos pueden haber disminuido su magnitud debido al programa del rescate de la voluntad hidráulica que se llevó a cabo en el país desde la segunda década del siglo pasado y cuyo impacto no ha sido evaluado profundamente (Baisre y Arboleya, 2006).

Debido a que el golfo de Ana María ha sido poco estudiado o al menos los trabajos publicados son escasos (Emilsson y Tápanes, 1971, Lluís Riera, 1977 y González-De Zayas *et al.*, 2006) los objetivos de este estudio fueron caracterizar la hidroquímica y establecer un índice trófico actual para un sector de la plataforma cubana.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El golfo de Ana María se ubica al sur de la isla de Cuba, limitado por las costas de las provincias Ciego de Ávila, Camagüey y Sancti Spiritus y los cayos del borde de la plataforma insular del archipiélago de los Canarreos, que se extienden desde la punta María Aguilar hasta el Laberinto de las Doce Leguas, separado del golfo de Guacanayabo al este, por un grupo de cayos bajos y arrecifes, entre los que se encuentran los cayos Guasa, Sepultura, Orihuela, Pingues, Tío Morando y Angosturas (Figura 1). El relieve submarino del golfo de Ana María es irregular con numerosos cayos bajos y cabezos dispersos en forma de grupos, los cuales obstruyen la navegación por el mar somero, que encierran en su interior. Desembocan en las aguas del golfo los ríos Zaza, Agabama, Jatibonico del Sur y San Pedro. Entre los lugares habitados de la costa del golfo se encuentran los pueblos de Casilda, Tunas de Zaza y los poblados de Playa Florida y Júcaro.

Muestreo

La investigación se realizó en la parte central del golfo de Ana María (Figura 1) entre los días 8 y 26 de octubre de 2011. Se determinaron salinidad y temperatura (*in situ*) en 38 estaciones. Ambos parámetros fueron determinados con un salinómetro WTW con precisión de 0,1. Se determinó oxígeno disuelto (OD) y se calculó la saturación de OD en 21 estaciones. El OD se fijó en botellas Winkler (a cada botella se le hicieron tres réplicas) en el campo y posteriormente se procesaron en el barco mediante el método de Winkler (Wright, 1983).

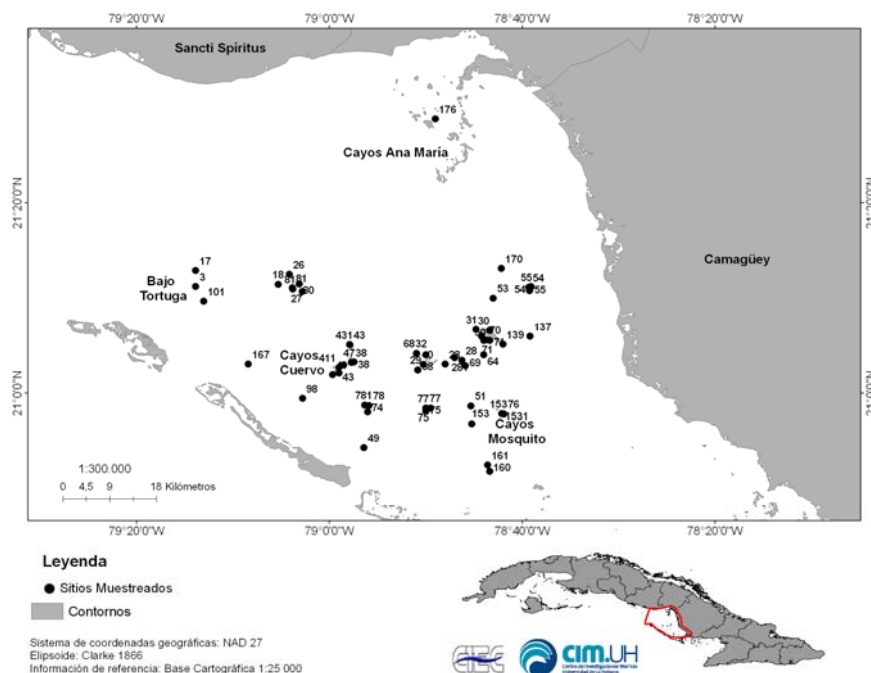


Figura 1. Localización del área de estudio y estaciones de muestreo.

Se cuantificaron nutrientes disueltos (amonio, nitrato + nitrito, fósforo reactivo soluble y silicato reactivo soluble) en 16 estaciones y en muestras de lluvia. Las muestras para el análisis de nutrientes fueron filtradas a través de filtros de nitrocelulosa de $0,22 \mu\text{m}$ (Millipore™ tipo HA) y fijadas con cloriformo. Los análisis fueron realizados con un analizador de flujo segmentado Skalar SanPlus utilizando los métodos estándares adaptados por Grasshoff *et al.* (1983) y circuitos sugeridos por Kirkwood (1994). La precisión de los análisis con este sistema fue: nitrato $0,1 \mu\text{M}$, nitrito $0,02 \mu\text{M}$, amonio $0,1 \mu\text{M}$, fósforo reactivo soluble (PRS) $0,04 \mu\text{M}$, y silicato reactivo soluble (SiRS) $0,1 \mu\text{M}$.

La distribución espacial de los parámetros se interpoló mediante el paquete SURFER 9.

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 para el nitrógeno inorgánico disuelto (NID) y fósforo reactivo soluble (PRS), basado en la siguiente ecuación:

$$IE = \frac{C}{C - \log X_i} + \log A$$

Donde:

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

A: es el número de estaciones de muestreo (16).

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 $3 \leq IE \leq 5$ es *mesotrófico* y para $IE > 5$ es *eutrófico*.

RESULTADOS

La temperatura del agua varió entre $28,0$ y $31,7 \text{ }^\circ\text{C}$ y un valor promedio de $29,7 \pm 0,9 \text{ }^\circ\text{C}$. La temperatura más elevada se determinó en el sector comprendido entre cayo Santa María y Bergantines (sector más somero) y la temperatura mínima ($28,0 \text{ }^\circ\text{C}$) fue hacia el oeste de la zona de estudio (Figura 2).

La salinidad tuvo un nivel promedio de $36,5 \pm 0,2$ ups en un intervalo de entre $36,0$ y $37,3$ ups por lo que estas aguas pueden clasificarse como agua de mar polihalina (entre $34,0$ y $38,0$ ups). En la distribución espacial, la salinidad más elevada ($37,3$ ups) se determinó hacia el sureste de la zona de estudio (Figura 3).

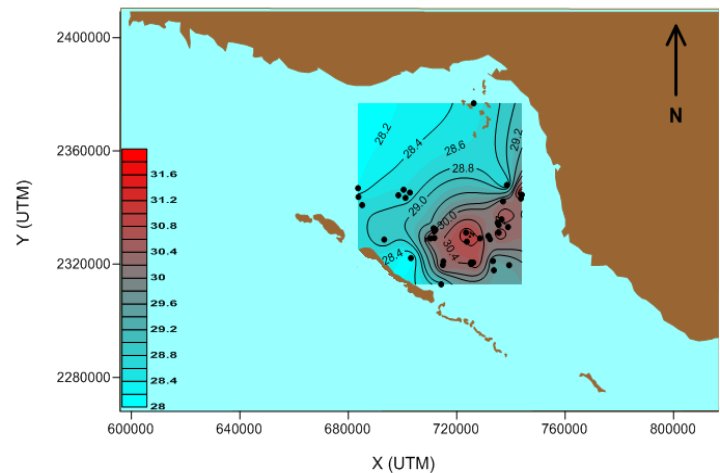


Figura 2. Distribución horizontal de temperatura ($^\circ\text{C}$) en la zona central del golfo de Ana María.

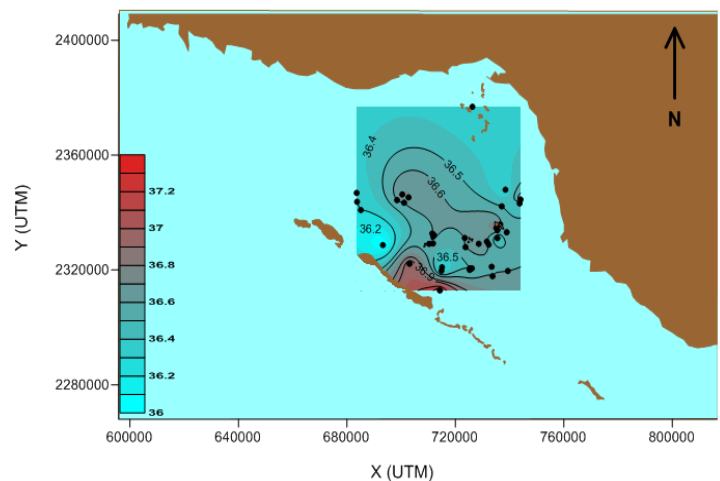


Figura 3. Distribución horizontal de salinidad en la zona central del golfo de Ana María.

La concentración de OD fue adecuada para la vida acuática ya que osciló entre $5,3$ y $7,9 \text{ mg/L}$ (saturación entre 88 y 137) y tuvo promedio de $6,4 \pm 0,6$ (105% de saturación). Los niveles más elevados de OD fueron al este de la zona de estudio y el mínimo ($5,3 \text{ mg/L}$) cercana a cayo Algodoncito (Figura 4).

La concentración promedio de nitrógeno inorgánico disuelto (NID) fue de $6,9 \pm 5,4 \mu\text{M}$ y los valores se ubicaron entre $1,2$ y $20,4 \mu\text{M}$. El amonio constituyó más del 50% del NID en todas las estaciones y estuvo en nivel promedio de $4,6 \pm 3,8 \mu\text{M}$ (entre $0,8$ y $13,2 \mu\text{M}$). La otra fracción nitrogenada del NID (nitrato + nitrito) estuvo entre $0,4$ y $12,7 \mu\text{M}$ con un promedio de $2,3 \pm 3,0 \mu\text{M}$, siendo la mitad del nivel de amonio. La distribución espacial de NID mostró que los mayores niveles de este nutriente estuvieron en una franja del sector este de la zona de estudio (entre cayo Algodón Grande y cayo Cuervo) y el máximo nivel ($20,4 \mu\text{M}$) en la estación ubicada en

cayo Cuervo (Figura 5). El amonio (más del 50% del NID) tuvo una distribución similar al NID, aunque su nivel máximo (13,2 μM) se detectó al sur de cayo Algodón Grande (Figura 6). En el caso de nitrato + nitrito, el nivel máximo (12,7 μM) fue en cayo Cuervo (similar al NID) aunque el patrón espacial no coincide con los del amonio y el NID. Los niveles mínimos de nitrato + nitrito (menores a 1,0 μM) se determinaron hacia el sur y oeste de la zona de estudio (Figura 7).

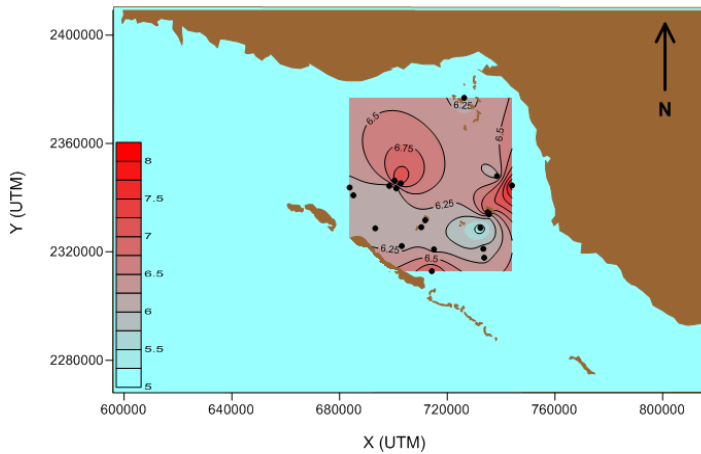


Figura 4. Distribución horizontal de oxígeno disuelto (mg/L) en la zona central del golfo de Ana María.

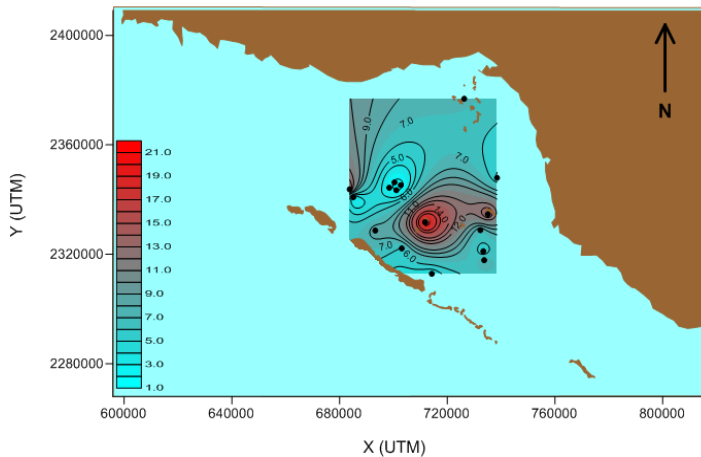


Figura 5. Distribución horizontal de nitrógeno inorgánico disuelto (μM) en la zona central del golfo de Ana María.

El nivel promedio de PRS fue de $0,4 \pm 0,2 \mu\text{M}$ (intervalo de entre 0,2 y 0,8 μM) y especialmente los niveles más elevados se distribuyen en una franja similar a la descrita para el NID (entre cayo Algodón Grande y el sur de cayo Caballones) (Figura 8).

El SiRS estuvo entre 2,1 y 8,1 μM y un promedio de $4,3 \pm 1,6 \mu\text{M}$. El máximo de SiRS se determinó hacia el borde este de la zona de estudio, mientras el mínimo de concentración se extendió hacia el centro (Figura 9).

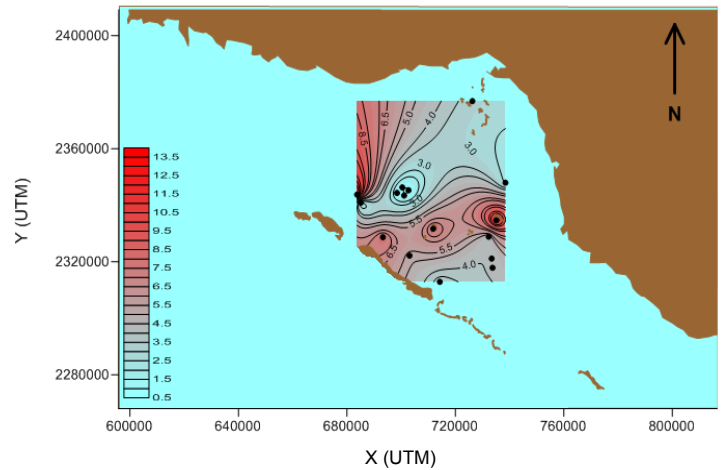


Figura 6. Distribución horizontal de amonio (μM) en la zona central del golfo de Ana María.

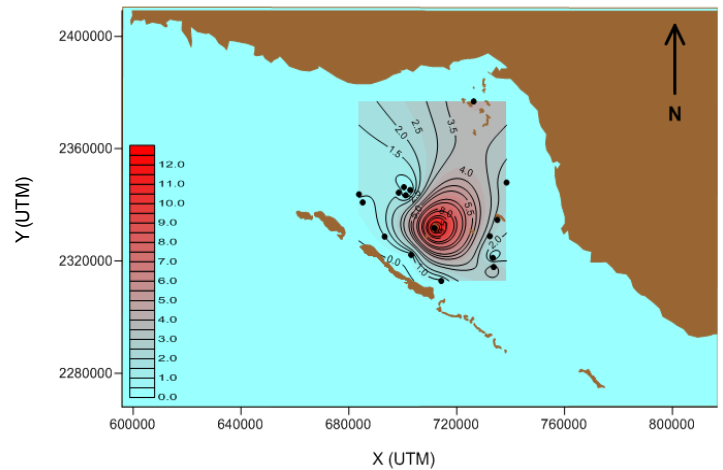


Figura 7. Distribución horizontal de nitrato + nitrito (μM) en la zona central del golfo de Ana María.

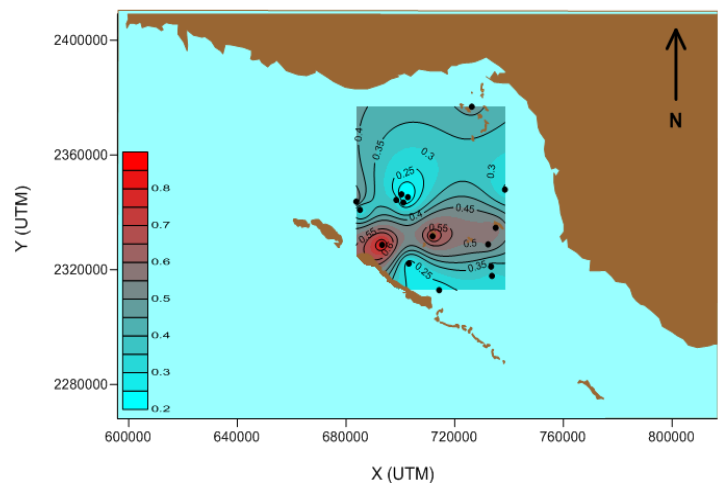


Figura 8. Distribución horizontal de fósforo reactivo soluble (μM) en la zona central del golfo de Ana María.

La proporción NID/PRS fue como promedio de 18/1, por lo que el nutriente limitante fue el PRS.

Para el caso de la proporción SiRS/NID, el nivel promedio en la zona de estudio fue de (1/1), por lo que ambos nutrientes no están limitando la producción primaria fitoplanctónica.

El IE calculado para la zona de estudio usando el NID fue de $2,9 \pm 0,5$. Al calcular el IE usando el PRS se obtuvo un valor de $0,9 \pm 0,1$.

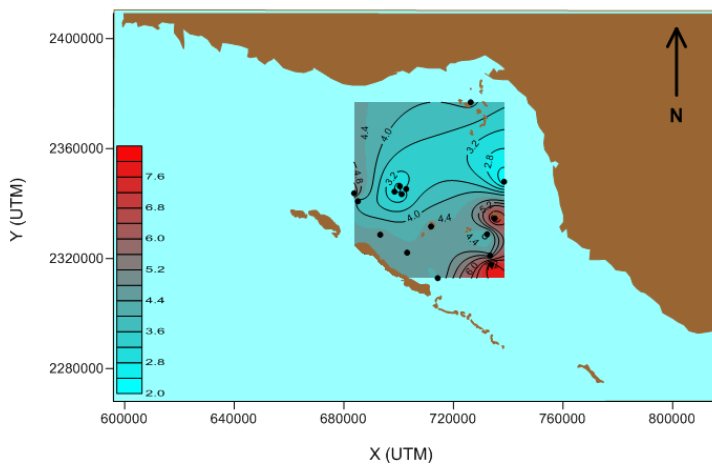


Figura 9. Distribución horizontal de silicato reactivo soluble (μM) en la zona central del golfo de Ana María.

DISCUSIÓN

Las condiciones hidroquímicas de la zona de estudio fueron características de zonas costeras con intercambio con el mar Caribe oligotrófico y aportes terrígenos, principalmente durante la época de lluvias. La temperatura superficial fue superior a $28,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, la que es normal para la época climática en que se realizó el muestreo. No fue posible determinar zonas de afloramiento de aguas profundas o subterráneas, ni la influencia de aguas dulces provenientes de ríos. La temperatura superficial de las aguas fue comparable con la de estudios previos (Emilsson y Tápanes, 1971; Lluís Riera, 1977).

La salinidad tuvo niveles cercanos a los del mar Caribe adyacente ($36,0$ ups para la época del año) sin anomalías importantes como las reportadas por Emilsson y Tápanes (1971). La distribución espacial mostró los niveles más bajos hacia el suroeste y norte de la zona de estudio y los mayores hacia el centro de la misma zona. Al parecer la influencia de las aguas del mar Caribe adyacente tiene mayor peso hacia el suroeste y oeste y los escurrimientos superficiales del sur de Cuba sobre las áreas más al norte de la región de estudio. Un núcleo de salinidad máxima se formó hacia el centro del golfo de Ana María, el cual fue descrito también por Lluís Riera (1977).

El OD fue adecuado para la vida acuática, superando los $6,0\text{ mg/l}$ y sobresaturación en la ma-

yoría de las estaciones. Los núcleos de mayor concentración ($> 7,0\text{ mg/L}$) fueron hacia el centro y oeste de la zona de estudio, donde también Lluís Riera (1977) los determinó. Fue importante la ausencia de zonas “muertas” (niveles muy bajos o nulos de OD) en el área estudiada.

Los nutrientes tuvieron niveles normales para aguas costeras cubanas, como los determinados por González-De Zayas (2012) para la costa norte de Ciego de Ávila (NID de $3,9\text{ }\mu\text{M}$ y PRS de $0,9\text{ }\mu\text{M}$) y por González-De Zayas (comunicación personal) en el golfo de Guacanayabo (NID de $13,9\text{ }\mu\text{M}$ y PRS de $1,1\text{ }\mu\text{M}$). Aunque Lluís Riera (1977) reportó niveles más bajos de nitrato + nitrito y PRS ($0,2\text{ }\mu\text{M}$ en ambos casos) hay que señalar que este autor utilizó menos estaciones y abarcó un área de estudio mayor. Sin embargo, al analizar el nivel promedio de silicato determinado por Lluís Riera (1977) se nota que fue superior ($6,7\text{ }\mu\text{M}$) al de este estudio ($4,3\text{ }\mu\text{M}$). Las diferencias entre ambos estudios pudieran deberse a que se realizaron en épocas diferentes (agosto el de Lluís Riera (1977) y octubre este estudio), aunque si es notable que un indicador de los aportes terrígenos como lo es el silicato se encontró en menores concentraciones lo que pudiera corroborar lo planteado por Baisre y Arboleya (2006) sobre la disminución de los aportes de nutrientes a las zonas costeras cubanas producto del represamiento de los principales ríos. El aporte de nitrógeno y fósforo procedente de las precipitaciones pudo ser un factor que influyera en los contenidos determinados de NID y PRS, ya que en los días de muestreo hubo lluvias con concentraciones de $16,7\text{ }\mu\text{M}$ y $0,9\text{ }\mu\text{M}$, respectivamente.

Especialmente, se tuvieron los mayores niveles de nutrientes (excepto el silicato) en una franja comprendida entre los cayos Santa María y Cuervo y que pudieron estar relacionados con procesos regenerativos de la materia orgánica que ocurren en lagunas y esteros presentes en estos cayos y que con la marea estos nutrientes pueden ser exportados hacia las aguas del golfo. El silicato tuvo los niveles más elevados (mayores a $5,0\text{ }\mu\text{M}$) y similares a los de Lluís Riera (1977) hacia el este de la zona de estudio, quizás más cercana a los mayores aportes de agua de origen terrígeno.

Las relaciones NID/PRS y SiRS/NID permitieron establecer que el nutriente limitante en las aguas del área de estudio es el PRS, el cual debería estar disponible a partir de las entradas de fuentes externas como los ríos y las lluvias e internas como el reciclamiento. González-De Zayas (2012) encontró limitación por PRS en la zona costera al norte de Ciego de Ávila entre 2007 y 2009; sin embargo, Seisdedos *et al.* (2010) determinaron que el nitrógeno fue el nutriente limitante en la zona costera al sur de Cienfuegos. La relación SiRS/NID fue de 1/1, ideal para el crecimiento de diatomeas en el fito-

plancton de la zona de estudio, pero dejó dudas sobre si esta relación es menor en la época poco lluviosa, cuando el aporte de aguas de origen terrestre se reduce aún más.

La evaluación del estado trófico de las aguas de la zona de estudio (utilizando el IE propuesto por Karydis *et al.* (1983) mostraron el bajo impacto que reciben las aguas de esta zona costera desde el punto de vista trófico. Seisdedos *et al.* (2010) llegaron a similar conclusión en la zona sur de Cienfuegos. Sin embargo, la bahía de La Habana tuvo alto estado trófico (Reyes, 2008), ya que además de tener la influencia de sus usos, presentó menor intercambio de sus aguas con el mar adyacente por ser un sistema semicerrado.

Estas condiciones de oligotrofia en las aguas de la zona de estudio son, además, un indicador del excelente intercambio entre el golfo de Ana María y el mar Caribe adyacente (también oligotrófico) y de la escasa influencia que parecen tener los escurrimientos superficiales y ríos desde tierra firme.

Evaluar cómo han variado estas condiciones en el tiempo, constituye un tema de investigación importante en el contexto del impacto que pudieran tener los bajos niveles de nutrientes sobre la productividad primaria de la zona y por tanto sobre el ciclo de vida del camarón y otras especies comerciales marinas.

AGRADECIMIENTOS

A los tripulantes del barco "Felipe Poey" y del barco "Itajara" (Tito, Orelvys y Wilbert).

REFERENCIAS

- Baisre, J.A., Arboleya, Z. (2006) Going against the flow: the effect of river damming in Cuban fisheries. *Fisheries Research* **81**, 283–292.
- Carlson, R.E. (1977) A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* **22**, 361–369.
- Clark, J.R. (1983) *Coastal ecosystem management*. Wiley & Sons, New York, 928 pp.
- Clark, J.R. (1996) *Coastal zone management handbook*. Lewis, New York, 694 pp.
- Emilsson, I., Tápanes, J. (1971) Contribución a la hidrología de la plataforma sur de Cuba. *Serie Oceanológica* **9**. Instituto de Oceanología. Academia de Ciencias de Cuba. 30 pp.
- González-De Zayas, R., Zúñiga, A., Camejo, O., Batista, L., Cárdenas, R. (2006) Atributos físicos del ecosistema Jardines de la Reina. En: *Ecosistemas Costeros: Biodiversidad y manejo de recursos naturales. Sección II. Ecosistema Jardines de la Reina*. CIEC. Editorial CUJAE.
- González-De Zayas, R. (2012) *Balace de nitrógeno y fósforo en una laguna costera tropical (Laguna Larga, Cuba)*. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México, 100 pp.
- Grasshof, K., Ehrhardt, M., Kremling, K. (1983) *Methods of seawater analysis* (2nd ed.) Verlag CEIME.
- 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.
- Kirkwood, D.S. (1994) Sanplus Segmented Flow Analyzer and its Applications, *Seawater analysis. Skalar*. **51** pp.
- Lluis Riera, M. (1977) Estudio hidrológico de la plataforma suroriental de Cuba y aguas oceánicas adyacentes. Informe científico-técnico 16. I.O. ACC. La Habana. 30 pp.
- Perera Valderrama, S., Hernández Hernández, E., Venereo Pérez-Castro, A., De la Guardia Llansó, E., Hernández Ávila, A. y Barrance, A. (2010) Proyecto GEF "Aplicación de un enfoque regional al manejo de las áreas marino-costeras protegidas en la región Archipiélagos del Sur de Cuba". Centro Nacional de Áreas Protegidas. 10 pp
- Redfield, A.C. (1934) On the proportions of organic derivations in sea water and their relation to the composition of plankton. In: *James Johnstone Memorial Volume*. (R.J. Daniel ed.). University Press of Liverpool, pp. 177–192.
- 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, 64 pp.
- Seisdedo, M., Moreira, A., Arencibia, G., Pérez, I. (2010) Análisis comparativo del estado trófico de las aguas en la costa oriental de la provincia de Cienfuegos, Cuba. *Rev. Invest. Mar.* **31**(2), 124–130.
- Vollenweider, R.A., Giovanardi, F., Montanari, G., Rinaldi, R. (1998) Characterization of the trophic condition 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.
- Wright, R.C. (1983) A modified field version of the Winkler determination of dissolved oxygen for testing remote sources of water. *New Phytol.* **95**, 37–40.

Recibido: 05/07/2012
Aceptado: 19/10/2012

Como citar este artículo:

González-De Zayas, R., Lestayo González, J.A., Merino-Ibarra, M., Castillo Sandoval, F.S. (2012) Condiciones hidroquímicas recientes de la zona central del golfo de Ana María, Cuba. *Rev. Invest. Mar.* **32**(2), 9–14.