

Variación espacio-temporal y grado de eutrofia de sustancias nutrientes en aguas de los Golfos de Ana María y Guacanayabo, Cuba

Spatial and temporal nutrient variations and eutrophication degree in the Gulfs of Ana María and Guacanayabo, Cuba

Abel Betanzos Vega^{1*}, Yuliesky Garcés Rodríguez¹, Gilma Delgado Miranda¹ & María Aurora Pis Ramírez¹

RESUMEN

A partir de nueve muestreos efectuados en meses lluviosos del 2009 en aguas de los golfos de Ana María y Guacanayabo, región suroriental de Cuba, se realizaron comparaciones (ANOVA) entre ambos golfos de concentración de sustancias nutrientes y otras variables oceanográficas, así como se estimó el grado de eutrofia y se confeccionaron cartas de distribución horizontal del índice de eutrofización del nitrógeno total inorgánico y el fósforo inorgánico. Se analizaron las variaciones de la concentración media de nutrimentos en tres periodos diferentes (1972-1973, 1988-1991 y 2009). Entre ambos golfos, se encontró diferencia significativa ($P < 0.05$) en la salinidad, el fósforo inorgánico y los silicatos. La distribución espacial del índice de eutrofización del nitrógeno total inorgánico y del fósforo inorgánico mostró gradientes que disminuyeron a medida que se incrementó la distancia a la costa. El Golfo de Guacanayabo presentó una mayor distribución y extensión de valores mesotróficos y características menos halinas que el Golfo de Ana María, con índice de eutrofización del nitrógeno total inorgánico de 3.05, superior al del Golfo de Ana María (2.99); el fósforo inorgánico mostró un índice de 2.80 en el Golfo de Guacanayabo, mayor que en el Golfo de Ana María (2.57). En el análisis por periodos, en ambos golfos las concentraciones medias de nitrógenos oxidados (NOx) disminuyeron en 2009 con respecto al periodo 1988-1991, el fósforo inorgánico mostró tendencia al incremento, mientras que los silicatos mostraron un decrecimiento escalonado desde 1972-73.

Palabras claves: Sustancias nutrientes, eutrofia, plataforma suroriental, Cuba

ABSTRACT

Nutrient concentrations and other oceanographic variables were compared (ANOVA) between the Gulfs of Ana María and Guacanayabo in the Southeastern region of Cuba based on nine samples taken during the rainy months in 2009. In addition, the degree of eutrophication was estimated, and horizontal distribution charts were prepared for the eutrophication index of total inorganic nitrogen and phosphorus. The variations of the mean concentration of nutrients were analyzed for three different periods (1972-1973, 1988-91, and 2009). There were significant differences ($P < 0.05$) in salinity, inorganic phosphorus and silicate between the two gulfs. The spatial distribution of the eutrophication index of total inorganic nitrogen and phosphorus showed gradients that decreased as distance to the coast increased. The Gulf of Guacanayabo showed greater distribution and extension of mesotrophic values, less haline characteristics, and higher eutrophication index of total inorganic nitrogen (3.05) than the Gulf of Ana María (2.99). The inorganic phosphorus also showed a higher mean rate in relation with the Ana María Gulf (2.57). In the analysis by periods for both gulfs, the mean concentrations of nitrogen oxides (NOx) decreased in 2009 compared to the 1988-1991 period, the inorganic phosphorus showed an increasing trend, while silicate showed a stepwise decrease from 1972-1973.

Keywords: Nutrient substances, eutrophication, Southeastern platform, Cuba.

1 Centro de Investigaciones Pesqueras. 5^{ta} Ave y calle 246. Santa FE. C.P. 19100. Ciudad de La Habana. Cuba. abetanzos@cip.telemar.cu*, yuliesky@cip.telemar.cu, gdelgado@cip.telemar.cu

Recibido 12-XII-2011

Aceptado 8-VIII-2012

INTRODUCCIÓN

Diferentes estudios se han referido a que el principal aporte de sustancias nutrientes a las aguas marinas cubanas depende de las cuencas hidrográficas por escurrimiento fluvial (Lluis-Riera, 1977; Piñeiro, 2006; Baisre & Arboleya, 2006), con gradientes en los niveles tróficos que disminuyen desde la desembocadura de los principales ríos y sistemas lagunares, de forma perpendicular, hacia las aguas exteriores (Baisre, 1985), donde se presentan características oligotróficas (Caddy & Bakun, 1994; Signoret *et al.* 1998). Esta oligotrofia señalada para las aguas oceánicas adyacentes y para algunos tramos de la plataforma insular, ha sido relacionada con una pobre disponibilidad de sustancias nutrientes como factor principal que limita la producción primaria (Kondratieva & Sosa, 1967; Baisre, 2004).

Entre 1991 y el año 2000 se alcanzaron los mayores niveles de represamiento de aguas fluviales, elevando la capacidad nacional de embalse de aguas dulces alrededor de 200 veces desde 1971 (Batista, 2002). Este incremento en el represamiento de aguas fluviales con el consecuente descenso del escurrimiento superficial, sumado a la disminución drástica, desde 1990, en la adquisición y uso de fertilizantes inorgánicos con destino fundamentalmente agrícola, han sido considerados una causa esencial en la reducción del arribo de sustancias nutrientes inorgánicas a la plataforma insular cubana, lo que en adición a otros factores, ha sido utilizado para explicar la disminución de la productividad en diferentes recursos pesqueros, principalmente los más asociados a las zonas costeras (Piñeiro *et al.* 2006; Baisre, 2006; Baisre & Arboleya, 2006; Puga *et al.* 2010).

Teniendo en cuenta los criterios anteriores, a partir del monitoreo de las principales zonas de desove y reclutamiento de camarón rosado (*Farfantepenaeus notiales*, Pérez Farfante, 1967) ubicadas en áreas de los golfos de Ana María y Guacanayabo, el siguiente estudio tuvo como objetivo principal: determinar diferencias y similitudes entre ambos golfos en cuanto a la concentración de sustancias nutrientes en aguas superficiales y otras variables oceanográficas, así como evaluar el grado de eutrofia según nutrimentos inorgánicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las áreas estudiadas se localizan en los golfos de Ana María y Guacanayabo, región suroriental de Cuba (Fig. 1) y corresponden a zonas de desove y reclutamiento de camarón rosado (*F. notialis*). El área de estudio en el Golfo de Ana María (GAM) abarcó unos 1 100 km² y la del Golfo de Guacanayabo (GG) aproximadamente 1 500 km². En la plataforma suroriental vierten las principales cuencas hidrográficas del país y se presentan los mayores niveles de represamiento de aguas fluviales, con 1 812.36 hectómetros cúbicos (hm³) de capacidad de embalse en las cuencas que vierten al GG y una capacidad total de embalse en ríos que desembocan al GAM de 2 241.39 hm³ (Cubagua, 2009). En ambas zonas se localizan sistemas lagunares con una superficie total de 7 500 ha, de las cuales unas 6 500 ha corresponden al sistema lagunar del Cauto (SLC), NE del GG, y unas 1 000 ha, a la ciénaga litoral del Sur (CLS) en el NE del GAM (González-Sansón, 1984).

Se realizaron nueve muestreos en meses mayoritariamente lluviosos del año 2009, que abarcaron 13 estaciones en el GAM y 17 estaciones en el GG en

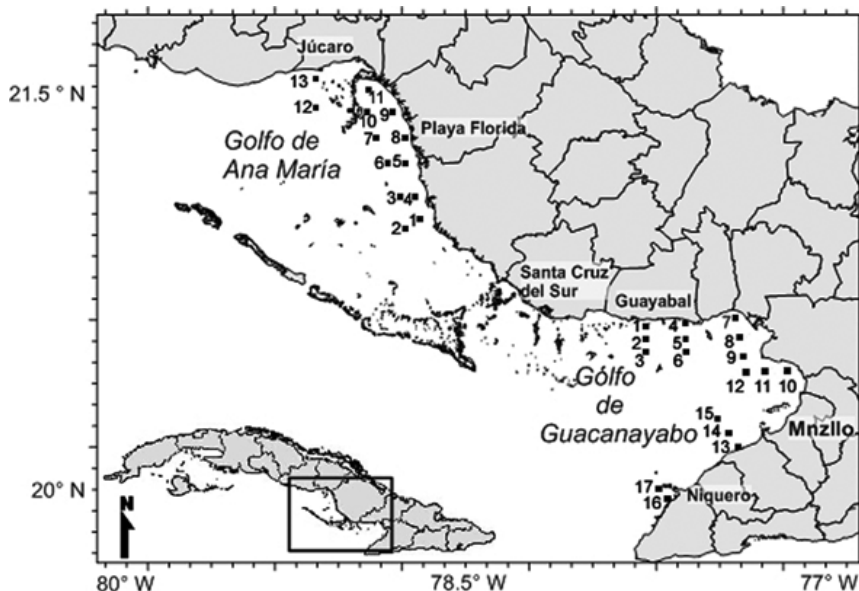


Fig. 1. Áreas de estudio y red de estaciones de muestreo

Fig. 1. Study areas and sampling station network

transectos perpendiculares a la costa (Fig. 1). Los datos oceanográficos registrados corresponden al nivel de superficie (0.50 m) y al periodo de abril a septiembre de 2009, meses que coinciden mayoritariamente con el periodo lluvioso en Cuba (mayo - octubre).

Los análisis de nitrito (NO_2^-), amonio (NH_4^+), silicatos ($\text{SiO}(\text{OH})_3^-$) y fosfatos (PO_4^{3-}) se determinaron por el método de FAO (1975), y los de nitratos (NO_3^-), por el método descrito en Vann Mell (1982). Las muestras de agua se tomaron con una botella Van Dorn, para el análisis de las sustancias nutrientes se almacenaron en frascos de 1 litro preservándose a 4°C hasta su análisis en el laboratorio, la demanda química de oxígeno (DQO) en mg L^{-1} , preservadas a -20°C , hasta su cuantificación por FAO (1975). Los valores de nitrito y nitrato se agruparon en nitrógenos oxidados ($\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^- = \text{NOx}$) y el nitrógeno total inorgánico (NTI) se obtuvo de la sumatoria de los

$\text{NOx} + \text{NH}_4^+$. Todos los datos de nutrientes se presentan en $\mu\text{mol L}^{-1}$ (μM). Se realizaron mediciones de temperatura del agua ($^\circ\text{C}$), salinidad (UPS) y la concentración de oxígeno disuelto ($\text{mgO}_2\text{L}^{-1}$), registrados con una sonda YSI 85 con precisión (error) de ± 0.1 .

Con los registros puntuales de los parámetros hidrológicos e hidroquímicos del período mayo-septiembre de año 2009, se realizaron pruebas estadísticas (ANOVA) de comparación de muestras, entre ambos golfos, análisis no paramétrico W de Mann-Whitney (Wilcoxon) con salida gráfica por diagramas de caja y bigotes, además de correlaciones (Pearson) entre las sustancias nutrientes y la salinidad, utilizando el programa estadístico Statgraphics Centurion XV Versión 15.2.05. Se realizaron análisis estequiométricos y regresiones lineales entre el nitrógeno total inorgánico y el fósforo inorgánico (NTI/PI) con vista a determinar el balance

y validar la proporción N: P. Se utilizaron promedios históricos (1970 al 2009) y acumulado mensual de lluvia de 2009, correspondientes a la estación meteorológica de Manzanillo (EMM) en el GG y a la estación meteorológica de Júcaro (EMJ) para el GAM, ubicadas en zonas costeras.

Aunque se conocen otros índices y modelos para determinar el grado de eutrofia, que permiten obtener un resultado más integrador al incluir más de una variable, se utilizó el índice de eutrofización por nutrientes (IE) según la metodología de Karydis *et al.* (1983), teniendo en cuenta que un objetivo propuesto fue definir los aportes y disponibilidad según sustancias nutrientes inorgánicas y evaluar sus concentraciones. Este índice puede ser utilizado en cualquier cuerpo de agua, y además de representar los niveles de concentración por nutrimentos de todo el periodo de estudio permite evaluarlos según grado de eutrofia (Moreno *et al.* 2010). Para el análisis espacial, las concentraciones puntuales de NTI y PI, del periodo mayo a septiembre de 2009, fueron transformadas en valores del índice de eutrofización por nutrientes, que establece una escala < 3 para agua oligotrófica, entre 3 y 5 mesotrófica y > 5 para eutróficas.

Este índice se estima a partir de la ecuación:

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

Donde:

IE = es el índice de eutrofización del nutriente en cada punto (estación) de muestreo durante el período de estudio, compuesto por M muestreos.

C = es el logaritmo de la concentración total del nutriente durante la etapa de estudio en cada punto de muestreo.

X = es la concentración total del nutriente durante la etapa de estudio en el punto de muestreo.

A = en el número de puntos de muestreo durante el período de estudio.

Con los índices de eutrofización del NTI y el PI se confeccionaron cartas de distribución horizontal, aplicando un método de interpolación tipo Kriging con el programa SURFER Version 10.1.561, con el objetivo de identificar zonas de mayor y menor grado de eutrofia.

Para el análisis por periodos, se utilizaron valores medios de sustancias nutrientes del periodo 1972 - 1973 (Lluis-Riera, 1977) de ambos golfos, datos promedios de 1988-1989 del GAM y valores medios del GG de los años 1990-1991 (archivo del Centro de Investigaciones Pesqueras), seleccionando los valores según los meses y las estaciones de muestreo similares a los muestreados en el año 2009.

RESULTADOS

La EMM (GG) registró un período lluvioso bien definido de poca variabilidad mensual, con promedio de 128.2 mm de mayo a septiembre de 2009 y acumulado de lluvia anual de 1 095 mm, cercano al promedio histórico (1 133 mm). Mientras que la EMJ (GAM) presentó un período lluvioso de mayor variabilidad mensual, con promedio de 82.7 mm de mayo a septiembre de 2009 y acumulado anual de 617.2 mm, casi un 50% menor que el promedio histórico (1 153 mm).

En relación con las concentraciones medias mensuales de sustancias nutrientes, en el GG las máximas concentraciones se comparten entre mayo y junio, meses en que se registraron los mayores acumulados mensuales de lluvia y

Cuadro 1. Acumulados de lluvia, valores medios mensuales y desviación estándar de salinidad y nutrientes en los golfos de Ana María y Guacanayabo

Table 1. Cumulative rainfall, mean monthly values and standard deviation of salinity and nutrients, in Guacanayabo and Ana María gulfs

	MESES	Lluvia (mm)	Salinidad (UPS)	NH ₄ ⁺ (μM)	NOx (μM)	PO ₄ ⁻³ (μM)	SiO ₃ (μM)
GG 2009 n=66	mayo	226.8	33.14 ± 1.36	1.61 ± 0.63	1.84 ± 0.66	2.05 ± 0.98	5.07 ± 2.06
	junio	160.7	33.46 ± 1.12	1.72 ± 0.98	1.58 ± 0.49	1.49 ± 0.99	9.26 ± 2.06
	julio	101.7	34.31 ± 0.58	1.14 ± 0.79	1.57 ± 0.60	0.76 ± 0.34	4.90 ± 1.82
	septiembre	123.7	34.55 ± 0.46	0.55 ± 0.69	1.27 ± 0.66	0.68 ± 0.63	
GAM 2009 n= 61	abril	8.8	38.31 ± 0.30	1.08 ± 0.81	1.40 ± 0.66	0.54 ± 0.29	1.53 ± 1.60
	mayo	134.1	36.46 ± 0.66	1.17 ± 0.73	1.71 ± 0.72	1.26 ± 0.59	3.21 ± 1.21
	junio	67.9	37.27 ± 0.41	1.33 ± 0.83	1.59 ± 1.04	0.81 ± 0.38	6.06 ± 2.93
	julio	48.3	37.74 ± 0.18	1.17 ± 0.69	1.39 ± 1.02	0.45 ± 0.23	1.78 ± 0.79
	septiembre	181.3	37.54 ± 0.61	1.77 ± 0.72	1.36 ± 0.71	0.47 ± 0.23	4.82 ± 1.85

Cuadro 2. Correlaciones de Pearson entre pares de variables (nutrientes vs. salinidad)

Table 2. Pearson correlations between pairs of variables (nutrients vs. salinity)

n = 50	NOx	NH ₄ ⁺	PO ₄ ⁻³	SiO ₃
Salinidad	r = 0.07	r = -0.39	r = -0.41	r = -0.52
GG	P = 0.94	P = 0.05	P = 0.00	P = 0.02
Salinidad	r = -0.15	r = -0.20	r = -0.29	r = -0.37
GAM	P = 0.30	P = 0.05	P = 0.04	P = 0.04

menores promedios de salinidad (Cuadro 1). La proporción N: P a partir de valores puntuales totales de NTI/PI presentó un valor inferior a 8:1 en el GG, mostrando relación estadística significativa ($P < 0.05$; $n = 50$) con coeficiente de $R^2 = 0.67$. En el GAM, las concentraciones promedios mensuales de PO₄³⁻ y de NOx presentaron sus máximos en mayo y junio (Cuadro 1). Las mayores concentraciones de SiO(OH)₃⁻ se registraron entre mayo-junio y septiembre, meses de mayor precipitación en el GAM; abril, mes de transición seca-lluvia, presentó el mínimo promedio mensual (Cuadro 1). En el GAM, la proporción NTI/PI mostró un balance 5:1, con una relación entre ambos compuestos de coeficiente de correlación $R^2 = 0.61$ ($P < 0.05$; $n = 50$).

Utilizando los valores de salinidad como indicadores de la influencia o no de aguas dulces (escurrimiento), se relacionaron las concentraciones de las diferentes sustancias nutrientes con esta variable. En ambos golfos, excepto con los NOx, se encontró correlación inversa ($P \leq 0.05$) entre el resto de los nutrimentos y la salinidad (Cuadro 2).

En el análisis comparativo (ANOVA) entre el GG y el GAM, no se observaron diferencias significativas entre las concentraciones de NH₄⁺ ($W = 95.5$; $P = 0.5963$) sin embargo los valores de NH₄⁺ (Fig. 2a) presentaron mayor coeficiente de variación (66.3%) en el GG con relación al GAM (56.2%). Entre los de nitrógenos oxidados (Fig. 2b) no se encontró diferencias significativas ($W = 179.0$; P

= 0.3196), con coeficiente de variación ligeramente superior en el GAM (50.3%) con respecto al GG (48.3%). El PO_4^{3-} ($W = -646.5$; $P = 0.0003$) y el $\text{Si}(\text{OH})_3$ ($W = -441.0$; $P = 0.0020$) presentaron diferencias significativas entre ambos golfos ($P < 0.05$), constatándose una distribución más asimétrica, con mayores coeficientes de variación y valores máximos en el GG (Fig. 2c y 2d).

La temperatura del agua y el oxígeno disuelto no presentaron diferencias estadísticas significativas entre ambos golfos ($W = -101.0$; $P = 0.5518$ y $W = 237.5$; $P = 0.1609$, respectivamente); para el período de análisis, la temperatura mostró una media de 30.78°C en el GG y de 30.70°C en el GAM; el oxígeno disuelto presentó un promedio de $5.80 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$ en el GAM, mientras el GG mostró $5.63 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$. La DQO no presentó diferencia estadística significativa ($W = -310.0$;

$P = 0.0668$) entre ambas zonas, aunque el coeficiente de variación y los valores máximos en el GG fueron superiores a los del GAM (Fig. 3a). Con la salinidad se encontró diferencia estadística significativa con un nivel de confianza del 95.0% ($W = 1650.0$; $P = 0.0000$), observándose un comportamiento más halino en el GAM (Fig. 3b).

Para el GG, los mayores valores puntuales de DQO ($> 4 \text{ mg L}^{-1}$) se registraron en mayo y junio de 2009, al NE del GG, en las estaciones que se ubicaron entre el poblado de Guayabal y la laguna de Birama. En la distribución horizontal de la salinidad, los mínimos se localizaron, en las estaciones más cercanas a la cuenca del Guabeje y la cuenca del Cauto, según meses. El GAM mostró máximos de DQO al sur de Júcaro y frente al estero-laguna de Santa María, donde se registraron los mínimos de salinidad.

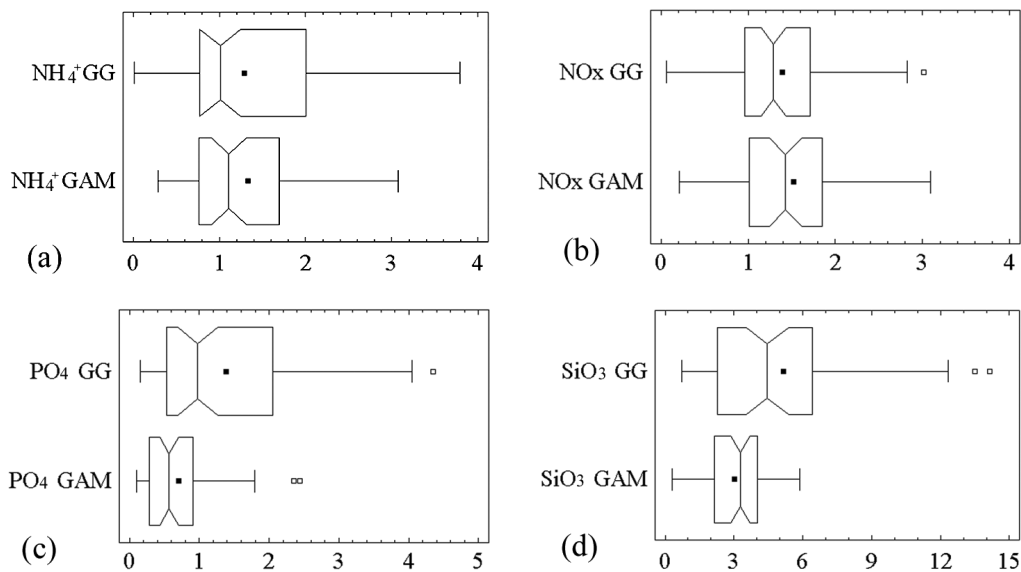


Fig. 2. Análisis comparativo de los nutrientes entre los golfos Guacanayabo (GG) y Ana María (GAM). Resultado de la prueba de Mann-Whitney (Wilcoxon), nivel de confianza del 95%

Fig. 2. Comparative analysis of nutrient concentration between the Gulfs of Guacanayabo (GG) and Ana María (GAM). Results of Mann-Whitney (Wilcoxon) test, 95% confidence level

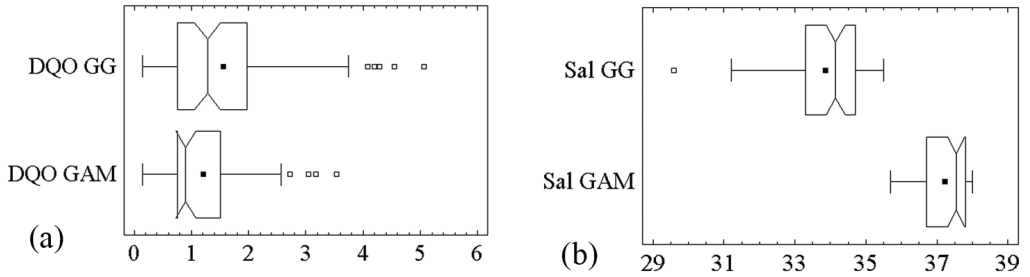


Fig. 3. Análisis comparativo de la DQO y la salinidad entre los golfos Guacanayabo (GG) y Ana María (GAM). Resultado de la prueba de Mann-Whitney (Wilcoxon), nivel de confianza del 95%
 Fig. 3. Comparative analysis of COD and salinity between the Gulfs of Guacanayabo (GG) and Ana María (GAM). Results of Mann-Whitney (Wilcoxon) test, 95% confidence level

En el análisis del IE del NTI en el GAM, se presentó características mesotróficas ($IE \geq 3$) en el 46% de las estaciones. En la distribución horizontal (Fig. 4a) la isolinéa con valor de índice 3, que marcó el límite entre valores mesotróficos y oligotróficos, presentó una distancia promedio al litoral costero de 3.5 mn. Los gradientes se incrementaron hacia la costa donde se localizaron dos zonas de mayor IE; una se ubicó al norte del área de estudio, extendiéndose desde el poblado Júcaro - laguna Baraguá hasta el frente del poblado y estero de Playa Florida, con valores de IE del NTI entre 3.10 y 3.15, y la otra, en aguas adyacentes a la laguna Santa María (estación 5), donde se registró el máximo IE (3.26). En relación con el PI, los valores del $IE \geq 3$ (mesotróficos) se localizaron al sur del poblado de Júcaro (Fig. 4b), norte del área estudiada en el GAM, con máximo de 3.14 (estación 13).

En el GG, el 50% de las estaciones muestreadas presentaron características mesotróficas ($IE \geq 3$) en relación con el índice de eutrofización del NTI. En la distribución espacial (Fig. 4c), las isolinéas con índice ≥ 3 del NTI se distribuyeron en una franja paralela a la línea de costa, desde la ensenada de Birama, extremo NE del GG (estación 7), hacia el sur, hasta un área cercana al poblado de Niquero; se estimó

una extensión de 8 mn desde la isolinéa con IE de 3.05 de NTI (Fig. 4c) hasta la línea de costa. Los valores máximos del IE del NTI (> 3.25) en el GG se localizaron hasta una distancia promedio de 5 mn desde el litoral, extendiéndose desde el norte de la ciudad de Manzanillo (estero Buey) hasta la cuenca del río Guabeje (estación 13), donde se registró el mayor valor (3.37). En relación con el PI en el GG, el IE presentó sus mayores valores al noreste del GG (Fig. 4d), con un máximo de 3.06 (estación 7) en áreas adyacentes a la laguna de Birama.

En el análisis por períodos (Fig. 5), en ambos golfos las concentraciones medias de $SiO(OH)_3^-$ disminuyeron escalonadamente desde el período 1972-73, con menores concentraciones en el GAM. El PO_4^{3-} manifestó una tendencia al incremento, aunque en el GAM en el período 1988-1989 se presentó una media ligeramente superior al 2009 (Cuadro 3). Las concentraciones medias de NOx mostraron un máximo en los años correspondientes al período 1988-1991 según golfos; en el GAM el máximo se presentó en el período 1988-1989, y en el GG las concentraciones medias en los años 1990-1991 fueron muy superiores a las de los períodos 1972-1973 y 2009 (Fig. 5 y Cuadro 3).

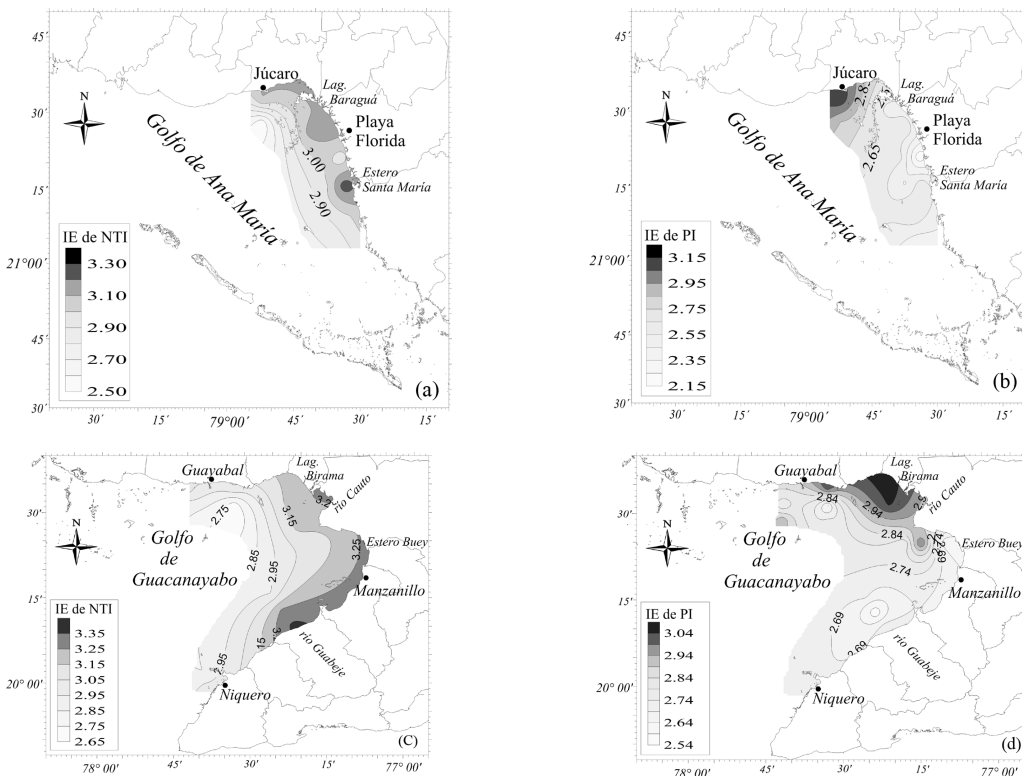


Fig. 4. Distribución espacial del índice de eutrofización del NTI y PI en los golfos de Ana María y Guacanayabo

Fig. 4. Spatial distribution of the eutrophication index of NTI and PI of the Gulfs of Ana María and Guacanayabo

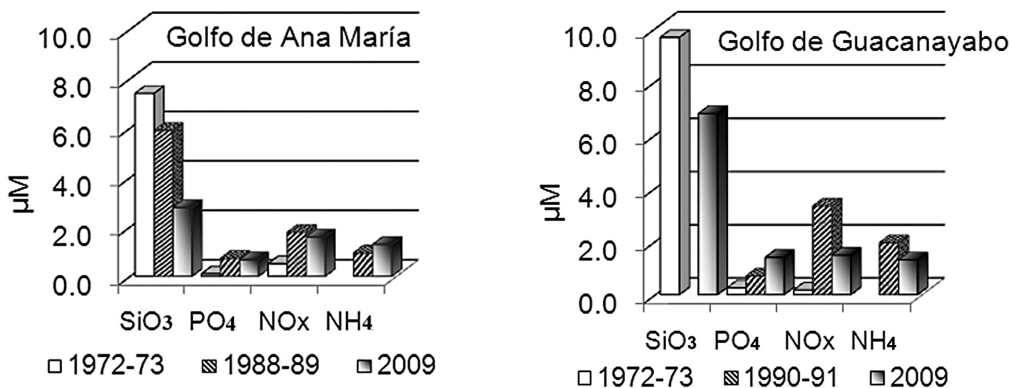


Fig. 5. Concentración media de nutrientes en los golfos de Ana María y Guacanayabo en tres periodos diferentes

Fig. 5. Average concentration of nutrients in the Gulfs of Ana María and Guacanayabo in three different periods

Cuadro 3. Valores medios y desviación estándar de salinidad y nutrientes por periodos en los golfos de Ana María y Guacanayabo

Table 3. Mean values and standard deviation of salinity and nutrients by periods, in Guacanayabo and Ana María gulfs

Área	Periodo	Salinidad	NH ₄ ⁺ (μM)	NOx (μM)	PO ₄ ⁻³ (μM)	SiO ₃ (μM)
GAM	1972-73	36.98 ± 0.60		0.51 ± 0.08	0.10 ± 0.21	7.41 ± 2.26
	1988-89	37.10 ± 2.40	0.95 ± 0.18	1.78 ± 0.22	0.73 ± 0.30	5.91 ± 2.80
	2009	37.42 ± 0.76	1.29 ± 0.91	1.59 ± 0.89	0.67 ± 0.51	2.78 ± 1.49
GG	1972-73	36.79 ± 0.60		0.18 ± 0.12	0.25 ± 0.32	9.67 ± 2.41
	1990-91	36.80 ± 0.95	1.95 ± 0.26	3.33 ± 0.40	0.70 ± 0.55	
	2009	33.85 ± 1.11	1.31 ± 0.92	1.48 ± 0.89	1.40 ± 1.09	6.80 ± 3.48

DISCUSIÓN

En relación con la variabilidad mensual en las concentraciones medias de las sustancias nutrientes inorgánicas en ambos golfos, las máximas concentraciones se registraron entre mayo-junio y adicional septiembre para el GAM, coincidiendo con los mayores acumulados mensuales de lluvia y menores salinidades, lo que corrobora que las precipitaciones y el consecuente escurrimiento fluvial, son un factor de peso en el aporte de nutrimentos a esta región (Lluis-Riera, 1977; Baisre, 2004). Sin embargo, los bajos coeficientes de correlación entre las sales nutrientes y la salinidad por estaciones pueden indicar, entre otras causas, la presencia de otras fuentes de aporte no relacionadas directamente con el escurrimiento fluvial, como pudo ser el transporte de sustancias nutrientes desde las lagunas interiores hacia las aguas costeras por las amplitudes del flujo y reflujo de las mareas, las que según Rodríguez & Rodríguez (1983), manifiestan una amplitud media de 0.48 m en el GG y de 0.39 m en el GAM. Lo que ha sido descrito por Pérez *et al.* (2003) como una fuente adicional de sustancias nutrientes, al registrar en las lagunas interiores del SLC (NE del GG), en meses

de seca y en momento de renovación de las aguas de los estanques de la camaricultura, valores medios de 57.5 μM de NOx, con una exportación relativamente significativa a las aguas litorales adyacentes debido a los procesos de marea y sin intervención de escurrimientos fluviales.

En consonancia con lo anterior, en la zona de estudio del GAM y en meses lluviosos, González (1994) manifestó una contradicción en relación con los aportes de agua dulce y menor salinidad al interior de los esteros y la contribución de sustancias nutrientes inorgánicas a la zona costera, encontrando coeficientes bajos de correlación entre las menores salinidades por el aporte de agua dulce, al interior de los esteros-ríos, con la concentración de sales nutrientes en la desembocadura y aguas costeras adyacentes, expresando que esta situación varía en relación con la dinámica de los esteros y del mar adyacente. Para ecosistemas similares, Head (1985) señaló que independientemente de las concentraciones de sustancias nutrientes en el interior de lagunas y esteros, si su dinámica no corresponde con la de un estero o laguna estuarina, total o parcialmente mezclado, no se producirá una exportación adecuada a las zonas marinas adyacentes, y su influencia no será positiva

para el desarrollo de los organismos marinos en su etapa postlarval y juvenil.

En ambos golfos la proporción NTI:PI presentó valores inferiores al valor (16:1) estimado por Redfield *et al.* (1963) como óptimo para el crecimiento del fitoplancton en aguas marinas, y aunque esta relación fue concebida para aguas oceánicas, es evidente que en zonas costeras con influencia de aguas terrígenas debe presentarse un balance mayor en la proporción, por lo que en ambas zonas pudo existir una limitación por nitrógeno inorgánico durante los meses de estudio. Los valores bajos de esta relación coincidió con resultados anteriores en el GG que se asocian a un alto consumo de los productores primarios y la existencia de procesos de desnitrificación, con una mayor contribución (>50%) de nitrógeno orgánico en relación con los nitrógenos totales (Montalvo *et al.* 2010).

En las cartas de distribución espacial del IE en el GG, el NTI mostró mayores condiciones mesotróficas al interior del golfo, con una mayor distribución de valores máximos (≥ 3.25) en aguas cercanas a las cuencas hidrográficas, principalmente en la cuenca del Guabeje, con gradientes que disminuyeron según se incrementó la distancia a la costa. La zona de mayor IE del PI en el GG se localizó adyacente al SLC y laguna de Birama, lo que coincidió con resultados obtenidos por Lluís-Riera (1977), quien los describió como consecuencia de procesos continuos de remineralización de materia orgánica. En esta misma área, NE del GG, se registraron máximos de DQO ($\geq 4 \text{ mg L}^{-1}$) en el año 2009. Los valores de DQO $> 3 \text{ mg L}^{-1}$ en aguas marinas de esta región se han asociado con alta concentración de materia orgánica (Montalvo *et al.* 2004).

En el GAM, los mayores valores del IE del PI se localizaron en aguas costeras

adyacentes al poblado de Júcaro, coincidiendo con los máximos valores puntuales de silicato y menores registros de salinidad, lo que pudo estar relacionado con un aporte fluvial de tipo local. Los silicatos, a pesar de ser no conservativos, pueden ser indicadores de la influencia de aguas dulces (Álvarez-Borrego, 2004). La distribución de los valores del IE del NTI, con máximo en estaciones adyacentes al estero-laguna Santa María, coincidió con resultados obtenidos por González (1994) en zonas litorales de esta región y en meses lluviosos de los años 1987 a 1990; en ese periodo, las mayores concentraciones de sustancias nutritivas se registraron al interior del estero-laguna Santa María con promedios de $3.58 \mu\text{M}$ de NO_x y $2.57 \mu\text{M}$ de PO_4^{3-} ; siendo este cuerpo de agua el que aportó mayores cantidades de nutrimentos a las zonas litorales adyacentes (González, 1994-1995).

En sentido general el GAM mostró un menor grado de eutrofia según el índice del NTI y PI utilizado para los meses de mayo a septiembre de 2009, y condiciones más halinas que en el GG. Las causas principales se pueden relacionar con el déficit de precipitaciones y menor escurrimiento, sumado a la dinámica típica de los esteros de esta región, de cuña salina con marcada estabilidad vertical, y al bloqueo en las bocas de algunos estuarios y lagunas debido a procesos de azolvamiento (Tápanes, 1972; Gonzáles, 1994; Baisre, 2004), lo que pudo limitar la renovación de las aguas interiores y la exportación de nutrimentos hacia las aguas costeras adyacentes. Mientras que el GG mostró un panorama más satisfactorio, con mayores concentraciones de sustancias nutritivas y mayor extensión de aguas mesotróficas en relación con el NTI y el PI, así como características semi-estuarinas, debido a un mayor aporte fluvial.

En el análisis con periodos anteriores, en ambos golfos la disminución en las concentraciones medias de silicatos, desde 1972-1973 al año 2009, se puede explicar en el incremento del represamiento y la evidente reducción en el aporte de escurrimientos superficiales. Lo que se puede dar como axiomático en el GAM en el que se observó un incremento proporcional de la salinidad (Cuadro 3). Sin embargo, en el GG, los valores medios de salinidad registrados en el 2009, indicaron un mayor escurrimiento que en el resto de los periodos estudiados; esto contrasta con las menores concentraciones de silicatos en 2009 en relación con el periodo 1972-1973, de menor capacidad de embalse. Esta contradicción puede explicarse, entre otras causas, en las precipitaciones y escurrimientos superficiales causas abajo que incidieran en la salinidad y no necesariamente en un mayor aporte de sustancias nutrientes inorgánicas, es decir, escurrimientos desde zonas que se ubican entre los embalses y la costa. El incremento de los embalses de agua dulce reduce los aportes terrígenos y retienen una mayor fracción de sustancias nutrientes, limitando su arribo a las zonas costeras (Baisre & Arbolea, 2006).

En ambos golfos, el PI tiende al incremento, con menores concentraciones en el periodo 1972-1973, cuando los niveles de represamiento eran muy bajos y debía haber un mayor escurrimiento terrígeno, esto permitió asumir que los aportes de PI responden a diferentes génesis. Las mayores concentraciones de PI en el GG, con valores máximos en el 2009, pudo estar relacionado con un incremento en los procesos regenerativos, como los mencionados por Lluís-Riera (1977) como de tipo continuo, ya que al remineralizar compuestos orgánicos específicos que contienen P las bacterias pueden producir una fuente adicional

de PI (Liu *et al.* 2008); otra causa estaría relacionada a eutrofización cultural por el incremento de vertimientos industriales y domésticos a las cuencas y zona costera, debido al mayor desarrollo poblacional y déficit en el tratamiento de residuales (Bastista, 2002).

El aumento de los nitrógenos oxidados desde 1972-1973, con máximos en los años 1988-1989 (GAM) y 1990-1991 (GG) y la disminución en el 2009, coincide con el panorama expresado por Baisre (2006) relacionado con las entradas de N, principalmente por la reducción en la importación y uso de nitrógeno inorgánico como fertilizante en Cuba, al manifestar una menor adquisición y uso hasta el periodo 1970-1972, años partir de los cuales se incrementó hasta alcanzar un máximo en 1989, cuando disminuyó drásticamente hasta un ligero incremento desde mediados de la década del 2000, pero muy por debajo de las entradas de N en la década de los 80. Esta variación coincidió con el comportamiento temporal de la concentración media de los NOx registrada *in situ* en las aguas marinas de ambos golfos según los tres periodos analizados, lo que pudiera explicar las menores concentraciones de NOx en el período 1972-1973, cuando los niveles de represamiento eran inferiores y mayor el caudal de aguas fluviales (CubAgua, 2009).

Los resultados obtenidos y los análisis derivados de resultados anteriores permiten entender, que las características locales ejercen una fuerte influencia en la hidrología y en los procesos hidrobiogeoquímicos de ambos golfos, siendo evidente el peso de las precipitaciones, el escurrimiento de las cuencas hidrográficas y la dinámica de los sistemas lagunares en la contribución y distribución de los nutrientes a las aguas marinas.

CONCLUSIONES

En el análisis comparativo entre ambos golfos, la mayoría de las variables estudiadas en el año 2009 presentaron un mayor coeficiente de variación y valores máximos en el Golfo de Guacanayabo, con diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$) en el fósforo inorgánico, los silicatos y la salinidad, lo que evidentemente estuvo relacionado con las mayores precipitaciones y escurrimiento superficial al Golfo de Guacanayabo, en contraste con el déficit de precipitaciones y pobre escurrimiento fluvial al Golfo de Ana María.

En el período lluvioso del año 2009 ambos golfos presentaron condiciones oligo-mesotróficas según NTI y PI, con mayor extensión de aguas mesotróficas en el Golfo de Guacanayabo el cual mostró índices cercanos al límite inferior mesotrófico pero superiores a los obtenidos en el Golfo de Ana María, lo que presupone que en años o meses de bajas precipitaciones o escurrimientos se pueden presentar mayores condiciones oligotróficas.

El análisis por periodos (1972-1973, 1988-1991 y 2009) en ambos golfos se observó una tendencia a la disminución de los silicatos, el fósforo inorgánico tendió al incremento, mientras los nitrógenos oxidados presentaron máximos en el período 1988-1989 en el Golfo de Ana María y en el período 1990-1991 en el Golfo de Guacanayabo.

Los máximos de concentración de sustancias nutrientes se localizaron en áreas adyacentes a los principales sistemas lagunares y cuencas hidrográficas, con gradientes perpendiculares a la costa que disminuyeron a medida que se incrementó la distancia a estos cuerpos de aguas, corroborando que las mayores exportaciones dependen, mayoritariamente, del régimen

de precipitaciones y el escurrimiento fluvial, de las amplitudes de la marea, y de los procesos de mezcla en los cuerpos de aguas interiores.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-Borrego, S. (2004). Dinámica de nutrientes y fitoplancton en una laguna costera fuertemente afectada por surgencias costeras. *Cienc. Mar.*, 30(1A), 1-19.
- Baisre, J. A. (1985). Los complejos ecológicos de pesca: definición e importancia en la administración de las pesquerías cubanas. *FAO Fish. Rep.*, 327, 251-272.
- Baisre, J. A. (2004). *La pesca marítima en Cuba*. La Habana, Cuba: Científico-Técnica.
- Baisre, J. A. (2006). Assessment of nitrogen flows into the Cuban landscape. *Biogeochemistry*, 79, 91-108.
- Baisre, J. A. & Arboleya, Z. (2006). Going against the flow: Effects of river damming in Cuban fisheries. *Fish. Res.*, 81, 283-292.
- Batista, J. L. (2002). Utilización actual de los recursos hídricos y calidad ambiental. *Rev. Int. Cienc. Tierra*, 76, 88-94.
- Caddy, J. F. & Bakun, A. (1994). A tentative classification of coastal marine ecosystems based on dominant processes of nutrient supply. *Ocean Coast. Manage.*, 23, 201-211.
- CubAgua. (2009). Gestión integrada del agua. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Recuperado en diciembre 15, 2009, disponible en <http://www.hidro.cu/recursoshidricos.htm>
- FAO. (1975). Manual of methods in aquatic environment research part I. Methods for detection measurement and monitoring of water pollution.

- FAO Fish. Tech. Pap N° 137. Roma, Italia: FAO.
- González-Sansón, G. & Aguilar, C. (1984). Ecología de las lagunas costeras de la región suroriental de Cuba. *Rev. Invest. Mar.*, 5(1), 127-171.
- González, J. A. (1994 - 1995). Comportamiento de variables hidroquímicas en los principales esteros en la zona camaronera de Playa Florida 1986-1990. *Rev. Cub. Invest. Pesq.*, 18(3), 1-6.
- Head, P. C. (1985). *Practical estuarine chemistry a handbook*. New York, EE. UU.: Cambridge University Press.
- Karydis, M., Ignatiades, L. & Moschopoulou, N. (1983). An index associated with nutrient eutrophication in the marine environment. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 16(3), 339-344.
- Kondratieva, T. & Sosa, E. (1967). Productividad primaria de las aguas cubanas. *Estudios Inst. Oceanol.*, 2(2), 21-24.
- Liu, Y., Villalba, G., Ayres, R. U. & Schroder, H. (2008). Global phosphorus flows and environmental impacts from a consumption perspective. *J. Ind. Ecol.*, 12(2), 229-247.
- Lluis-Riera, M. L. (1977). Estudios hidrológicos de la plataforma suroriental de Cuba y aguas oceánicas adyacentes. *Acad. Cien. de Cuba*, 16, 1-29
- Montalvo, J. F., García, I., Perigó, E., Martínez, M. & Cano, M. (2004). Niveles más representativos de los parámetros de calidad químico ambiental en la ecorregión Sabana-Camagüey. *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental. Vol. 5*, 58 – 70. Disponible en <http://oceanologia.redciencia.cu/articulos/articulo45.pdf>
- Montalvo, J. F., Perigó, A. E., Martínez, M., García, I., Esponda, S. C., César, M. E., García, R., López, D., García, N. & Blanco, M. (2010). Compuestos de nitrógeno y fósforo en las aguas superficiales de tres zonas de la plataforma marina cubana. *Serie Oceanol.*, 7, 27-36.
- Moreno, D. P., Quintero, J. & López, A. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *ContactoS*, 78, 25-33.
- Peréz, I. E., Arencibia, G., Capetillo, N. & Isla, M. (2003). Influencia del cultivo de camarón blanco (*Litopenaeus schmitti*) sobre ecosistemas costeros. *Rev. Fopcana*, 2(1-2), 11-20.
- Piñeiro, R. (2006). Influencia del aporte fluvial en la zona marino costera suroccidental del Golfo de Batabanó, Cuba. *Rev. Cub. Invest. Pesq.*, 24(1), 28-31.
- Piñeiro, R., Puga, R. & González-Sansón, G. (2006). Bases para el manejo integrado del recurso langosta (*Panulirus argus*) en la zona costera sur de Pinar del Río. I. Factores ambientales. *Rev. Invest. Marinas*, 27(3), 245-251
- Puga, R., Piñeiro, R., Cobas, S., de León, M. E., Capetillo, N. & Alzugaray, R. (2010). La pesquería de la langosta espinosa, conectividad y cambio climático en Cuba. En A. C. Hernández-Zanuy & P. M. Alcolado (Eds.), *La Biodiversidad en ecosistemas marinos y costeros del litoral de Iberoamérica y el cambio climático: I. Memorias del Primer Taller de la Red CYTED BIO-DIVMAR* (pp. 112-131). La Habana, Cuba, Instituto de Oceanología.
- Redfield, A. C., Ketchum, B. H. & Richards, F. A. (1963). The influence of organisms on the composition of sea water. En M. N. Hill & others (Eds.), *The Sea*, v. 2. (pp. 26-77). New York, EE.UU.: Wiley.
- Rodríguez, J. P. & Rodríguez, J. E. (1983). Las mareas en las costas cubanas. *Rep. Invest. Inst. Oceanol.*, 6, 1-37.

- Signoret, M., Bult, C. & Pérez. R. (1998). Patrones de distribución de clorofila a y producción primaria en aguas del Golfo de México y Mar Caribe. *Hidrobiológica*, 8(2), 81-88.
- Statgraphics Centurion XV. Version 15.2.05. (2007). Edición Multilingüe. StatPoint, Inc. Inc. www.statgraphics.com
- Surfer Version 10.1.561. (2011). Surface Mapping System. Golden Software, Inc. (32-bit)-Mar 1 2011.
- Tápanes, J. J. (1972). Hidrología de ecosistemas limitados. Estuarios de cuña salina. *Geofis. Int.*, 12(4), 313-338. Sobretiro del Reprint from 12(4): 313-338, México 1972.
- Vann Mell, L. I. J. (1982). *Les eaux saumâtres de Belgique. Approches progrès perspectives*. Brussels, Belgique: Institut Royal du Sciences Naturelles de Belgique.