

CONTAMINACIÓN EN EL ESTUARIO DEL RÍO BARACOA. LA HABANA. CUBA

L. S. Cobas¹, E. Perigó², R. Piñeiro¹ y R. Duthit³

¹ Centro de Investigaciones Pesqueras, 5ta. Ave. y 246, Santa Fe, Playa, Ciudad de La Habana, Cuba, E-mail: susana@cip.telemar.cu

² Instituto de Oceanología, Ave. 1ra. No. 18406, Reparto Flores, Playa, Ciudad de La Habana, Cuba.

³ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC, Avenida dos Astronautas. 1758. Jd. Granja. 12227-010 São José dos Campos. SP. Brasil

RESUMEN

En este trabajo se analiza la calidad ambiental del estuario del río Baracoa, a partir de variables físico-químicas (oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno, compuestos del ciclo del nitrógeno, fósforo inorgánico y total) y microbiológicas (concentraciones de coliformes totales, fecales y estreptococos fecales). Los muestreos fueron realizados en febrero de 2006 y en mayo y octubre de 2007. La distribución espacial de las mediciones de los parámetros físicos y químicos sugiere que el estuario es dominado por condiciones marinas. El análisis de la salinidad y la temperatura, así como el comportamiento no conservativo de los nutrientes muestran que, en corriente, las características del estuario pudieran estar influenciadas por la contribución de la cuenca y el escurrimiento de las precipitaciones. Habitualmente, concentraciones de los parámetros medidos en el estuario del río Baracoa, sugieren que esta área está muy impactada por las actividades antropogénicas en la cuenca del río, esto lo muestra los bajos valores de oxígeno disueltos encontrados, así como el déficit de oxígeno, el cual tuvo un promedio de $-1,6$ mg/L. Las acciones antropogénicas en este estuario están principalmente relacionadas con la emisión de los actividades domésticas y agrícolas, sistemas de tratamiento. Esto es asociado a los valores observados de las concentraciones de coliformes fecales y totales, de 240-1 100 NMP/100 mL, caracterizando el estuario como de calidad mala o dudosa, se recomienda realizar nuevas campañas para realizar muestreos sistemáticos para caracterizar climatológicamente el estuario del río Baracoa.

Palabras clave: calidad ambiental, estuario, río, variables físico-químicas, variables microbiológicas.

POLLUTION IN THE ESTUARY OF THE BARACOA RIVER. LA HABANA. CUBA

ABSTRACT

The environmental quality of the Baracoa river estuary was studied from the physic (temperature and salinity), chemic variables (dissolved oxygen, oxygen biochemical demand (DBO), oxygen chemical demand (DQO), nitrogen cycle, inorganic phosphorus and total phosphorus) and the microbiological variables (total and faecal coliforms and faecal streptococci). The samplings were made on February

2006 and May and October 2007. Spatial distribution of the physical and chemical parameters measured suggests that the estuary is dominated by the marine conditions. The salinity and temperature analysis shows that in general the characteristics of the estuary could be influenced by the contribution of the river basin draining through rains. In general, the concentrations of the measured parameters in the Baracoa river estuary, strongly suggest that this area is hitting by the human activities on the river basin, due to the low levels of oxygen dissolved and an oxygen average deficit of $-1,6$ mg/L. Anthropogenic actions in this estuary are mainly related to the emission of domestic and farming remainders without the suitable treatment. This is visibly associate to the observed values of the faecal and total coliforms concentrations, they 240-1 100 NMP/100 mL, that were surpassed reference values from the Cuban norm for water quality, characterizing itself like bad or doubtful quality. Pointing out negatively measurements made next to the communication channel the estuary and the El Doctor lagoon; it will be necessary new campaigns of systematic samplings to characterize the Baracoa River estuary climatologically.

Key words: environmental quality, estuary, river, physic and chemical variables, microbiological variables.

INTRODUCCIÓN

Estuario es un cuerpo de agua, parcialmente encerrado que recibe la descarga de agua dulce que proviene de las tierras y que está en contacto libre con el agua de mar que lo penetra por el efecto de las mareas, retardando la salida de agua fluvial, lo que provoca cierta mezcla de los dos tipos de agua. (Lauff, 1962; Contreras, 1993) Se destacan como aportadores por excelencia de los desechos industriales, los contaminantes provenientes de las actividades agrícolas y los residuales domésticos. (Perigó *et al.*, 2002)

La caracterización hidroquímica estuarina es fundamental para entender estas áreas, siendo indicadora de la influencia de fuentes naturales o antropogénicas. El objetivo en el presente trabajo es determinar la calidad ambiental del estuario del río Baracoa a través del monitoreo de variables físicas, químicas y microbiológicas.

Características físico-geográficas del área de estudio

El río Baracoa es una corriente fluvial que corre de sur a norte, vertiendo sus aguas directamente al mar, al oeste de la playa del mismo nombre. Tiene una longitud de 13,8 km y el área de su cuenca es de 10,72 km². (Comisión Nacional de Nombres Geográficos, 2000) El estuario del río tiene aguas someras, con una profundidad media de 1,9 m, el mismo recibe los aportes de agua dulce del río, del escurrimiento terrígeno en la época de lluvias y de la laguna costera El Doctor. Una medición realizada en época de lluvia permitió conocer que en ese momento la corriente en el estuario tenía una dirección preferencial con rumbo SSE y una velocidad inferior a los 8 cm·s⁻¹. (Perigó *et al.*, 2008)

El estuario del río Baracoa forma parte de la zona costera del municipio Bauta. Se encuentra entre los 23° 02' 35" y 23° 02' 55" de latitud Norte y los 82° 34' 17" y 82° 34' 29" de longitud Oeste.

El estuario se comunica con la laguna El Doctor a través de un estrecho canal con agua altamente contaminada a consecuencia de los vertimientos de residuales domésticos que recibe la laguna procedente de la comunidad los Cocos, además de otras fuentes contaminantes como un policlínico, un restaurante y la población circundante, lo cual ha contribuido a la alteración de su calidad higiénico-sanitaria (Fig. 1). El río se encuentra represado, lo cual constituye otra presión antropogénica, acción que tiende a alterar la hidrología del ecosistema con el aumento de la salinidad. (Baisre, 2000)



Fig. 1 Red de estaciones y principales focos de contaminación del estuario del río y litoral de Baracoa.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estuario del río Baracoa tiene una longitud de 2 750 m, el muestreo de las estaciones fue realizado con aproximadamente 200 m de distancia y fue estudiado en total 1 220 m en el estuario. Las muestras de agua se tomaron en una red de seis estaciones, en el centro del estuario en los niveles de superficie y fondo de acuerdo con la profundidad (Fig. 1), con una botella Petersen – Nansen, acoplada con un termómetro reversible en tres cruceros de investigaciones: febrero de 2006 y en mayo y octubre de 2007.

Se determinó el oxígeno disuelto (OD) *in situ* usando la modificación Winkler. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) fue determinada por el método de incubación directa durante cinco días a 20 °C, en dependencia de la concentración de materia orgánica de APHA (1992). La salinidad se midió con un salinómetro.

En cada estación se realizaron mediciones de la profundidad con un escandallo, la ubicación de las de las estaciones con un GPS GARMIN MAGALLANES MOD 3000 XL, la transparencia mediante el Disco Secchi y la temperatura del agua con un termómetro reversible.

Las muestras para cuantificar los compuestos de los ciclos del nitrógeno y del fósforo, fueron preservadas mediante congelación hasta su análisis, la demanda química de oxígeno (DQO) por oxidación en medio básico con permanganato de potasio (FAO 1975), amonio (NH₄⁺) por el método del indofenol azul, nitrito por el método espectrofotométrico de la reacción de Griess, nitratos por reducción con cadmio y fósforo inorgánico por el método del fosfomolibdeno, reducción con ácido ascórbico, todos

según IOC – UNESCO (1993). Para el nitrógeno total por digestión con persulfato de potasio en medio alcalino y posterior determinación como nitrato y el fósforo total por digestión de las muestras con persulfato de potasio y posterior determinación como fósforo inorgánico, fue empleada la metodología de Pierre – Carmouze (1994).

Para la evaluación de la calidad del agua se emplearon fundamentalmente las normas cubanas de calidad de agua de protección de los recursos hídricos para aguas marinas de uso pesquero, NC-25 (1999) y para uso recreativo, NC-22 (1999).

Las concentraciones de coliformes totales, fecales y estreptococos fecales se determinaron siguiendo la metodología estándar de tubos múltiples con cinco réplicas (NMP), propuesta por APHA (1992) y se evaluaron según la Norma Cubana NC-22/99 “Lugares de Baño en Costas y en Masas de Aguas Interiores” con contacto directo.

Para conocer la naturaleza de los datos fue hecho un análisis de variabilidad obteniéndose que la distribución que siguen los mismos es normal para $\alpha = 0,05$. Valores de salinidad media fue usada para el análisis, porque esta fue considerada por Bendis, 1999 como un estimado importante en la distribución y la hidrodinámica de los estuarios. El paquete estadístico Statistic R se usó en este caso para realizar un análisis de varianza simple (ANOVA) para comparar las medias mensuales. Finalmente, se hizo una prueba de cluster usando el método aglomerativo con el programa Statgraphic Centurion XV (versión 15.2.05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las mediciones de los parámetros físicos y químicos fueron resumidas en la Tabla 1 con el promedio de los tres cruceros de investigación realizados en el estuario.

Tabla 1. Variabilidad de parámetros físico y químico en aguas superficiales del estuario

Parámetro	Unidad	Media	Desviación		
			Estándar	Mínimo	Máximo
Temperatura	°C	28,1	1,9	0,5	30,2
Salinidad	UPS	34,8	0,3	31,6	36,6
OD	mg/L	5,1	1,3	2,9	8,9
Déficit de O ₂	mg/L	1,5	1,1	3,2	4,0
SO	%	6,2	0,2	6,0	6,6
DBO	mg/L	4,5	1,8	2,1	8,7
DQO	mg/L	5,6	2,2	3,0	9,0
NO ₃ +NO ₂	µmol/L	4,24	5,55	0,19	22,85
NH ₄	µmol/L	3,51	2,20	0,59	7,65
NO	µmol/L	43,84	36,09	2,44	101,42
NT	µmol/L	51,58	38,77	4,87	125,84
PO ₄	µmol/L	0,52	0,76	0,04	2,91
P T	µmol/L	2,50	4,13	0,45	17,51

Las aguas del estuario son someras con una profundidad media de 1,92 m. La transparencia en todo el cuerpo de agua es total.

La salinidad presentó poca variabilidad con una media de $34,8 \pm 0,3$ ups, muy próxima a las reportadas para aguas marinas las cuales son alrededor de 36 ups, por tanto, el estuario puede considerarse como homogéneo o muy mezclado. (Lauff, 1962) En el muestreo correspondiente a mayo de 2006 la salinidad declinó entre la boca hasta la estación 1 donde recibe la influencia del río.

La mayor variación observada fue en octubre de 2007 (Fig. 2) con 31,6 ups en la estación 4 y 36,6 ups en la estación 2. Fue asumido por Perigó *et al.* (2008) que esto es causado por las aguas contaminadas que llegan de la laguna costera EL Doctor. Marins *et al.* (2003) afirmaron que en algunos ambientes este proceso de inversión en la distribución de la salinidad para los estuarios, se podría relacionar con las lagunas costeras y las presas existentes en las cuencas del río, que reducen el flujo fluvial que llega al estuario que favorece la intrusión del agua marina.

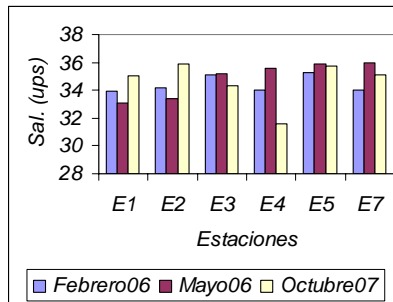


Fig. 2 Distribución de la salinidad en el estuario del río Baracoa (feb., 2006; mayo, 2006; octubre, 2007).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La prueba de ANOVA realizada no mostró diferencias significativas en la correlación de valores (Tabla 2).

Tabla 2. ANOVA for Col_1 * Col_2

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrados medios	F	Valor-P
Entre grupos	0,065 333 3	2	0,03	0,02	0,98
Inter grupos	20,78	12	1,73		
Total (Corr.)	20,853 3	14			

Se hizo una prueba de cluster entre cruceros considerando que la distancia euclidiana hizo una división en dos sets (correspondiendo a cada mes), estos son: 1) febrero y mayo y 2) octubre. Este análisis indica las diferencias salinas y el comportamiento de la zona entre estos meses (Fig. 3).

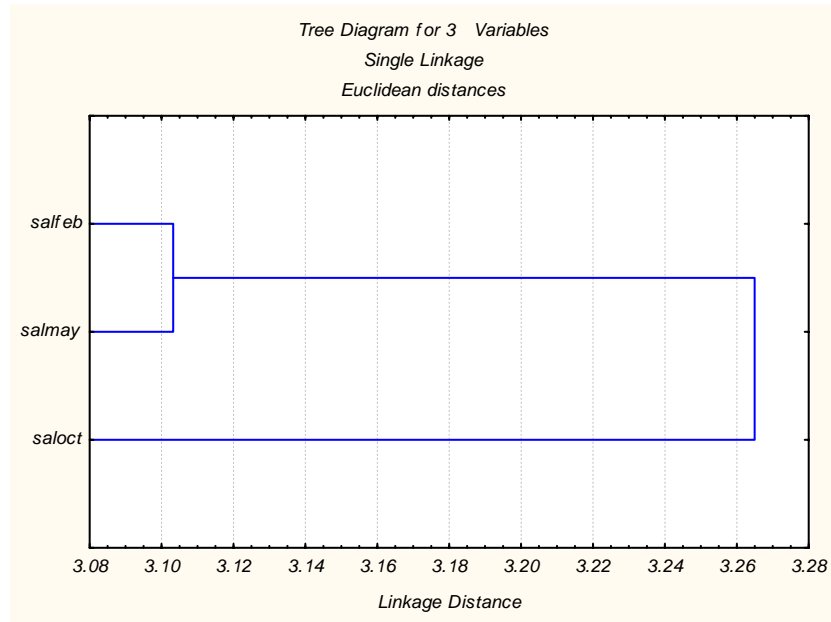


Fig. 3 Análisis Cluster de las estaciones.

Predominaron las concentraciones de oxígeno disuelto inferiores al valor de saturación sobre todo en los cruceros correspondientes a la época de lluvia (Fig. 4b y 4c), existiendo un déficit de oxígeno medio de $-1,6 \text{ mg/L}$, atribuido a un alto consumo biológico de oxígeno en la columna de agua y el sedimento.

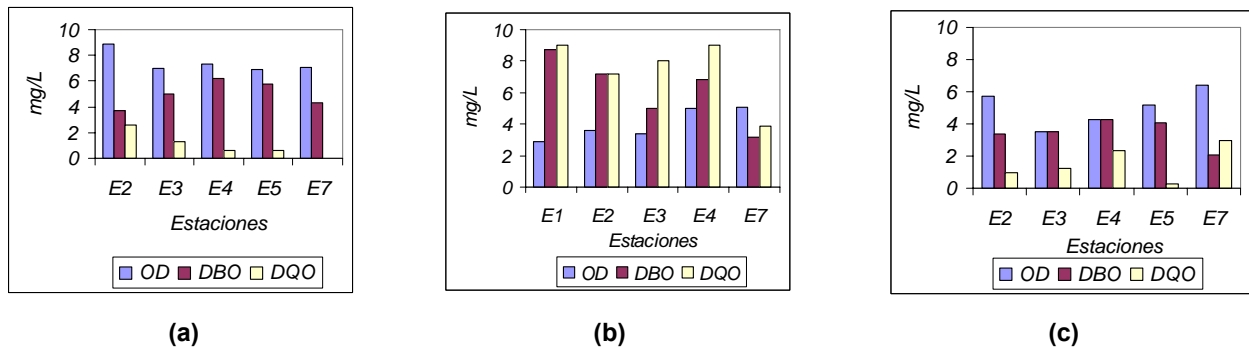


Fig. 4 Distribución del OD, DBO y DQO en: (a) febrero de 2006, (b) mayo de 2007 y (c) octubre de 2007.

Contenidos de oxígeno superiores a 5 mgL^{-1} se presentaron en febrero y octubre (Figs. 4a y 4c) y los menores en el crucero de mayo de 2007, donde se indicaron los mayores déficit de oxígeno en toda la extensión del estuario (Fig. 4b), debido fundamentalmente al aumento del transporte de materia orgánica influenciado por las lluvias a través del canal que lo comunica con la laguna costera. (Perigó *et al.*, 2006; 2008) No obstante, las cantidades del gas en el estuario, son superiores a las encontradas en estuarios de los ríos Agabama, Zaza y Las Casas, donde existen áreas anóxicas. (Perigó *et al.*, 1999)

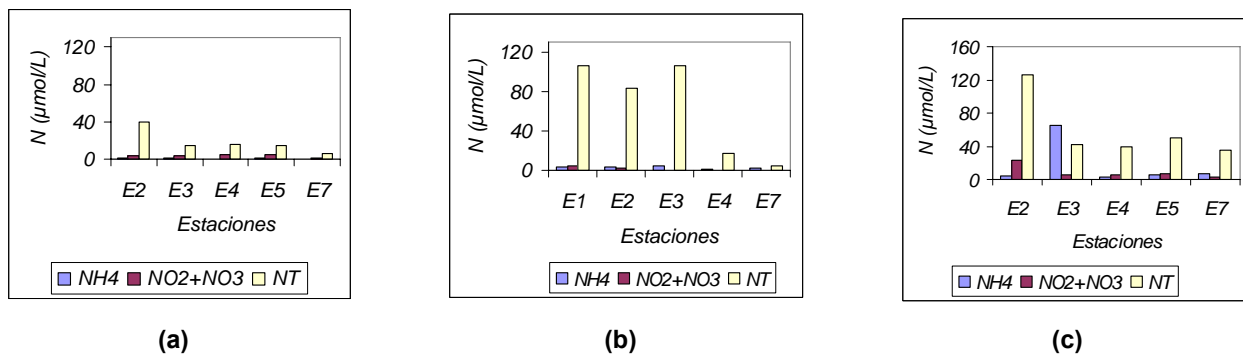


Fig. 5 Distribución del NH_4 , NO_3+NO_2 y NT en: (a) febrero de 2006, (b) mayo de 2007 y (c) octubre de 2007.

De los compuestos inorgánicos del ciclo del nitrógeno la especie predominante fue el nitrato, contenido medio de $4,24 \pm 5,55 \mu\text{mol/L}$ fluctuando entre 0,19 y 22,85 (tabla 1). Las mayores concentraciones de la sal se midieron en el crucero de febrero (Fig. 5a). El amonio tuvo montos que fueron desde 0,60-7,65 $\mu\text{mol/L}$ (tabla 1), aunque las concentraciones fueron muy heterogéneas predominaron las superiores a 0,05 mg/L (2,77 $\mu\text{mol/L}$), valor límite establecido por la NC-25 (1999) para que un cuerpo de agua marina sea considerado de mala calidad para uso pesquero. De acuerdo con las concentraciones tanto del amonio como del nitrato el estuario podría considerarse con tendencia a la oligotrofia, ya que ha estado sometido a una alta tasa de consumo por el fitoplancton, (De la Lanza *et al*, 1992) en los puntos de muestreo E-1 y E-2 los contenidos son típicos de agua marina eutrofizada (tabla 1). (Rabalais *et al.*, 1996)

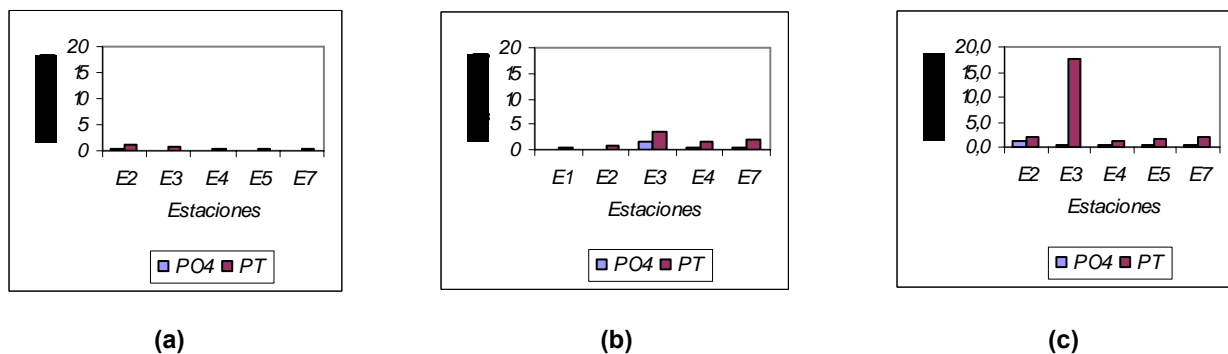


Fig. 6 Distribución del PO_4 y PT en: (a) febrero de 2006, (b) mayo de 2007 y (c) octubre de 2007.

El fósforo inorgánico (PO_4) representa el 35 % del fósforo total (PT), las concentraciones del primero se encontraron cercanas al límite de detección del método en los puntos de muestreo E-3 y E-7 en mayo de 2007, en este muestreo se encontró el máximo absoluto de fosfato en el punto E-4, influenciado por los aportes de la laguna (Fig. 6b). Las cuantías de fósforo en este cuerpo de agua son típicas de un sistema rico en fósforo, debido a que interacciona con un cuerpo de agua muy contaminado por residuales domésticos. (De la Lanza y Cáceres, 1994)

Tabla 3. Concentraciones de bacterias coliformes totales, fecales y estreptococos en el estuario, las marcadas indican que están por encima de las normas de calidad establecidas para estos indicadores de calidad higiénica sanitarias

Estación	Coliformes totales (NMP/100 mL)	Coliformes fecales (NMP/100 mL)	Estreptococos fecales (NMP/100 mL)
Crucero de febrero, 2006			
4	1 100* mala	460 dudosa *	23
5	240 dudosa	240* dudosa	240*
7	1 100 mala *	460*	15
Crucero de mayo, 2007			
4	1 100 mala *	460*	23
5	240 dudosa	240*	240*
7	1 100 mala *	460*	15
Crucero de octubre, 2007			
4	1 100 mala *	1 100 mala*	240*
5	1 100 mala *	900 mala *	240*
6	900 mala	900 mala *	160*
7	900 mala	900 mala *	140

Durante los muestreos realizados se obtuvieron en todos los casos, valores de coliformes fecales por encima de 200 NMP/100 mL, valor máximo permisible en la norma cubana (NC-22, 1999), presentando las peores condiciones en octubre de 2007 (900NMP/100 mL), lo que puso en evidencia la mala calidad de las aguas para el baño.

Las concentraciones de coliformes totales, al igual que la concentración de estreptococos fecales en los puntos situados en el centro (E-4) y en el más cercano a la desembocadura del río (E-5), se encontraron por encima de la norma de calidad de agua (tabla 3), sobre todo alrededor del punto que los comunican; en la laguna El Doctor los indicadores microbiológicos mostraron niveles altos de contaminación fecal. (Perigó *et al.*, 2008)

Los resultados muestran, en general, una moderada contaminación fecal en el río Baracoa, que se hace muy crítica en el mes de octubre debido, posiblemente, a que se tomaron las muestras durante una semana donde ocurrieron fuertes y constantes precipitaciones.

En el río Baracoa la carga contaminante está representada por materia orgánica y bacterias fecales (tabla 3), las cuales como es conocido son causantes de enfermedades de origen hídrico como infecciones gastrointestinales, respiratorias e infecciones en los ojos, cavidad nasal y en la piel, que generan altos porcentajes de morbimortalidad en la población. (FAO/OMS, 2004)

CONCLUSIONES

La distribución espacial de las mediciones de los parámetros físicos y químicos sugiere que el estuario es dominado por condiciones marinas. El análisis de la salinidad y la temperatura, así como el comportamiento no conservativo de los nutrientes muestran que, mayormente, las características del estuario pudieran estar influenciadas por la contribución de la cuenca y el escurrimiento de las precipitaciones. En general, concentraciones de los parámetros medidos en el estuario del río Baracoa, sugieren que esta área está muy impactada por las actividades antropogénicas en la cuenca del río, esto lo muestran los bajos valores de oxígeno disueltos encontrados, así como el déficit de oxígeno, el cual tuvo un promedio de $-1,6$ mg/L.

Las acciones antropogénicas en este estuario están principalmente relacionadas con la emisión de las actividades domésticas y agrícolas, sistemas de tratamiento. Esto es asociado a los valores observados de las concentraciones de coliformes fecales y totales, de 240-1100 NMP/100 mL, que sobrepasaron los valores de la norma cubana referente a la calidad del agua, caracterizando el estuario como de calidad mala o dudosa. Todo lo cual resalta las condiciones negativas en que se encuentra el canal de comunicación entre el estuario y la laguna El Doctor.

Concentraciones de algunos de los nutrientes medidas en la primera y la segunda estación fueron típicas de escenarios descritos como características de ambientes acuáticos eutrofizados. Esto es posible entenderlo ya que los resultados obtenidos se refieren a unas muestras, por estas razones será necesario realizar nuevas campañas para realizar muestreos sistemáticos para caracterizar climatológicamente el estuario del río Baracoa.

REFERENCIAS

- APHA-AWWA-WPCP. American Public Health Association (1992): *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Waters*, Washington D. C., 15 th, 856 pp.
- Baisre, J. A. (2000): *Chronicle of Cuban marine fisheries (1935-1995). Trend analysis and fisheries potential*, *FAO Fish. Tech. Pap.*, 394, 26 pp.
- Comisión Nacional de Nombres Geográficos (2000): *Diccionario Geográfico de Cuba*, 386 pp.
- Contreras, F. (1993): *Ecosistemas costeros mexicanos*. Comisión Nac. para el conocimiento y uso de la biodiversidad, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Izta-palapa, 415 pp.
- De la Lanza, G. y A. Rodríguez (1992): "Nutrient exchange between subtropical lagoons and the marine environment", *Estuarios*, 16(2): 273-279.
- De la Lanza, G. y C. Cáceres (1994): *Lagunas costeras del litoral mexicano*, U. A. de Baja California Sur, 525 pp.
- FAO (1975): *Manual of methods in aquatic environment research. Part 1, Methods for detection, measurement and monitoring of water pollution*, *FAO Fish. Tech. Pap.*, 237pp.

- FAO/OMS (2004): Caracterización de peligros de patógenos en alimentos y en agua. *Serie de Evaluación de Riesgos Microbiológicos*, 59 pp.
- IOC-UNESCO (1993): Nutrient analysis in tropical marine waters. Manual and guides, No. 33.
- Lauff, G. T. (1962): An Ass. for the advancement of science. Washington, *Estuaries*, Publ., 83, 757 pp.
- Montalvo, J. F. y E. Perigó (1999): Niveles de oxígeno disuelto y materia orgánica en lagunas costeras de las regiones central y oriental de Cuba, *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental*, 0, pp. 126-129.
- NC-22 (1999): *Lugares de baños en costas y en masas de aguas interiores*. Requisitos higiénicos sanitarios, 9 pp.
- NC-25 (1999): *Sistema de Normas para la Protección del Medio Ambiente*. Hidrosfera. Especificaciones y procedimientos para la evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero, 12 pp.
- Perigó, A. y otros (2006): “Evaluación de factores hidroquímicos indicadores de contaminación orgánica en la laguna costera El Doctor, Playa Baracoa, Cuba”, *Rev. Cub. Invest. Pesq.*, 36: 12-16.
- Perigó, E. y otros (2008): “Diagnóstico ambiental de la laguna costera El Doctor, playa de Baracoa, Bauta. Impactos y respuestas”, *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental*, vol. 8, pp. 162-172.
- Perigó, E. y otros (2002): “Aplicación de los modelos de simulación hidronuméricos en el estudio de la contaminación del río Las Casas”, *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental*, vol. 3.
- Perigó, E.; Montalvo, J. F. e I. A. García (1999): Impacto ambiental en ecosistemas litorales del sur de la provincia de Sancti Spiritus (Cuba), *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental*, 0, pp. 220-224.
- Pierre Carmouze, J. O. (1994): *Metabolismo de Ecosistemas Acuáticos. Fundamentos teóricos. Métodos de estudios de análisis químicos*, Editora FAPEST, 251 pp.