



Calidad ambiental y capacidad de autodepuración de la laguna costera El Doctor. Playa Baracoa, Habana, Cuba.

Environmental quality and self-purification capacity in El Doctor coastal lagoon. Baracoa beach, Havana, Cuba.

Eusebio Perigó - Arnaud *, José Francisco Montalvo Estévez*, María Elena Miravet Regalado*, Diana Enríquez Lavandera*, Lissete S. Cobas Gómez **, Orlando Ramírez Stout*, Lourdes Rivas Rodríguez* y Raudel García Santos, *

* Instituto de Oceanología. (CITMA) Ave. 1^{ra} No.18406 Reparto Flores, Playa, La Habana, Cuba.

perigo@oceano.inf.cu

** Centro de Investigaciones Pesqueras. La Habana, Cuba.

Resumen

Se presenta un diagnóstico sobre la calidad ambiental de la laguna costera El Doctor a partir de las principales variables físico químicas y microbiológicas indicadoras de la contaminación orgánica, su estado trófico e higiénico sanitario en tres campañas de muestreo realizadas en febrero de 2006 y mayo y octubre de 2007. La laguna presenta un alto grado de contaminación orgánica, altos valores de nutrientes, así como, elevadas concentraciones de coliformes totales y fecales, y estreptococos fecales, los cuales, sobrepasan los límites establecidos en las normas cubanas de calidad de agua para usos pesquero y recreativo (NC: 22-99 y NC: 25-99). La principal causa de la contaminación de la laguna son los residuales crudos que llegan a la laguna originados por la Comunidad de los Cocos, los cuales, alcanzan un volumen estimado de 1 000 m³/día y carga contaminante de 250 Kg./día. La mayoría de los impactos ambientales identificados se clasifican como negativos muy altos. La aplicación de un modelo biogeoquímico de calidad de agua indicó que la laguna solo puede autodepurar alrededor de un 20 % de la carga orgánica que recibe. Según la simulación, la eficiencia del sistema de tratamiento bioquímico de los residuales debe ser superior al 80 % para permitir la existencia de vida en la laguna. Se recomienda el empleo de sistemas de tratamiento extensivo de los residuales como laguna de estabilización facultativa o humedales construidos.

Abstract

This work presents a diagnosis on the environmental quality of El Doctor coastal lagoon starting from the main physicochemical and microbiological variables indicators of organic pollution, its trophic and hygienic-sanitary state. Three sampling cruises were carried out in February 2006, and May and October 2007. This lagoon shows a high degree of organic pollution; the concentrations of organic matter, nutrients, as well as total and fecal coliforms, and fecal streptococcus are above Cuban water quality standard for fishing and recreational uses (NC: 22-99, NC: 25- 99). The main cause of the lagoon's pollution state is due to crude wastes originated by Los Cocos community, whose estimated volume is 1 000 m³/day with a polluting load of 250 Kg./day. The application of a biogeochemical model for water quality indicated that the lagoon can only self-depurate around 20 % of the organic load it receives. According to the simulation, the efficiency of the biochemical waste treatment system must be higher than 80 % to allow the existence of life in the lagoon. The use of extensive waste treatment systems is recommended, such as facultative stabilization lagoons or constructed wetlands.

Palabras claves: diagnóstico ambiental, hidrodinámica, eutrofización, tratamientos, contaminación.

Keywords: *environmental diagnosis, hydrodynamics, eutrophication, treatments, pollution.*



INTRODUCCION

Los diagnósticos sobre la calidad ambiental en ecosistemas costeros pueden constituir etapas previas de estudios más amplios, según la escala de trabajo de que se trate. En ocasiones, estos diagnósticos siempre precedidos de inventarios y caracterización de los territorios sobre los que se trabaja, forman parte de estudios de impacto ambiental para obras en escalas detalladas y en otras oportunidades, constituyen una pieza clave para un nuevo ordenamiento territorial, propuestas de cambios de uso, sondeo del potencial productivo de los geosistemas o paisajes de un territorio, etc. (Alcaide, Gutiérrez. y Valdés, 2004). Conceptualmente, el diagnóstico ambiental de un territorio es un procedimiento dirigido a identificar y evaluar el estatus ambiental del mismo, comparado en algunas ocasiones con su estado original o al menos, con un estado resultante de una propuesta de uso afín a las características funcionales e intrínsecas de los paisajes del territorio.

En el marco del Manejo Integrado Costero (MIC), el diagnóstico ambiental constituye un paso fundamental para determinar causas y sus relaciones con los impactos negativos y positivos, las fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades que presenta el territorio de la zona costera del Municipio Bauta, específicamente, la Playa Baracoa donde se ubica el asentamiento humano de la Comunidad de los Cocos y la laguna costera El Doctor la cual es receptora de los residuales doméstico de dicha comunidad. Debido a esta situación, en la laguna costera El Doctor en 1989 se reportaron grandes mortandades de peces a consecuencia del vertido de residuales líquidos por un desastre ecológico ocurrido en esa fecha (Perigó, Montalvo, Chang, César y García, 2006).

MATERIALES Y METODOS

Área de estudio

La laguna costera El Doctor se encuentra situada en el litoral del municipio Bauta, entre los 23°02'57'' y 23°03'01'' de latitud N y 82°34'11'' y 82°34'51'' de longitud W (Fig.1). La misma se comunica con el estuario del río Baracoa a través de un estrecho canal. Tiene un área de 129 700 m² y un volumen de 64 850 m³ con una profundidad media de 0,5 m. La vegetación circundante de la laguna está constituida fundamentalmente por manglares, los cuales han disminuido su cobertura debido al alto grado de contaminación de la laguna (González – Sansón, 2002). La principal fuente de contaminación de la laguna son los residuales de la comunidad de Los Cocos, además de las viviendas que se encuentran alrededor de la misma. Estos residuales vierten un volumen de alrededor de 1 000 m³, los cuales representan una población equivalente de 50 g DBO/día por habitante, lo cual representa una concentración media de 250 mg DBO/L (Perigó, Perigó, Montalvo, Chang, Cesar y García, 2006).

Se ejecutaron tres campañas de muestreo: febrero de 2006, y mayo y octubre del 2007. La toma de muestras de agua y sedimentos para la determinación de los parámetros químicos, así como, para evaluar la calidad higiénico sanitaria, se realizó de forma manual debido la poca profundidad del lugar. También, se midió la temperatura *in situ* con un termómetro reversible de sensibilidad 0,1 °C y la salinidad con un salinómetro. La profundidad y transparencia se midieron con un disco Secchi, y el oxígeno disuelto (OD) por el método de Winkler. Las muestras para analizar la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) fueron mantenidas en refrigeración y diluidas

con agua marina, aireadas e incubadas a 20 °C durante 5 días en una incubadora refrigerada. Para analizar la demanda química de oxígeno (DQO) y los nutrientes las muestras se envasaron en botellas plásticas y se mantuvieron en congelación hasta su análisis.

Se determinó el régimen de corrientes a partir de mediciones directas mediante un correntómetro Aandera SD 6000.

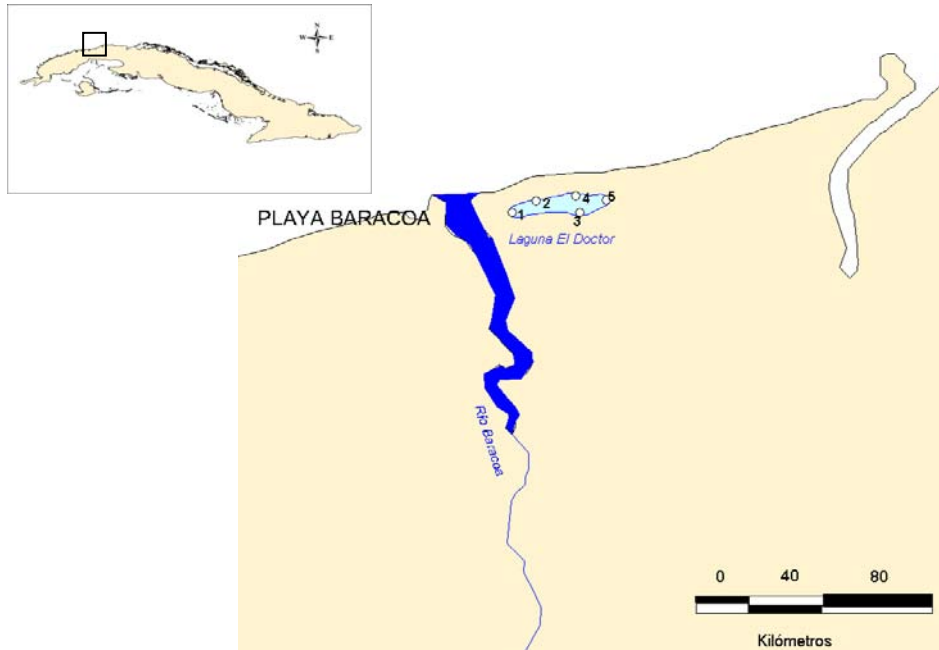


Figura 1. Red de estaciones en la laguna costera El Doctor.
Figure 1. Network of stations in El Doctor coastal lagoon.

Los nutrientes analizados fueron: amonio, nitrito, nitrato y nitrógeno total, fosfato reactivo y fósforos totales. En sedimentos se cuantificaron el carbón orgánico (CO), nitrógeno orgánico (NO), el fósforo total (Pt) y sulfuro. Las determinaciones se realizaron por métodos estandarizados (APHA, 1992, FAO, 1975, IOC -UNESCO, 1993).

Para pronosticar la capacidad de auto depuración de la laguna El Doctor se empleó un modelo hidrodinámico biogeoquímico de calidad de agua (Thomann (1972), el cual relaciona el déficit de OD con el balance de masa de la DBO de acuerdo con la expresión:

$$D = D_0 e^{-k_2 t} + \frac{k_1 L_0}{k_2 - k_1} \left[e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t} \right]$$

- Donde: D = Déficit de oxígeno
 Do = Déficit inicial de oxígeno
 e = exponencial (2.7182818)
 k₂ = constante de reaireación
 k₁ = constante de desoxigenación
 Lo = Balance de masas de la DBO inicial
 t = Tiempo para que la masa de agua llegue a un punto dado



La evaluación de las variables ambientales se realizó mediante estadística descriptiva. Se utilizaron los programas Excel 2003, Statistica 7, MapInfo 6.5.

Para la evaluación de la calidad del agua se emplearon las normas cubanas NC: 25 - 99 y NC: 22 - 99 y para identificar los impactos se tomó como base el trabajo de Rivas, Perigo, Izquierdo y Miravet (2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La laguna El Doctor es somera, tiene una profundidad media de 0,5 m. La transparencia es casi nula (Tabla 1), debido a la alta concentración de sólidos que acarrean los residuales líquidos, la hidrodinámica, la alta productividad fotosintética y el efecto del viento, el cual da lugar a la resuspensión de los sedimentos (De la Lanza 1998).

Tabla 1- Valores promedio, desviación estándar (S), mínimo y máximo de los parámetros fisicoquímicos superficiales en la laguna El Doctor.
Table 1. Average values, standard deviation (S), minimum and maximum in superficial physicochemical parameters in El Doctor Lagoon.

Parámetro	Unidad	Media	S	Mínimo	Máximo
Temperatura	°C	28,40	3,00	22,7	31,80
Transparencia	m	0,00	0,00	0,00	0,00
Salinidad	UPS	28,90	5,50	19,9	35,50
OD	mg/l	4,39	3,01	0,75	9,58
DBO	mg/l	40,06	33,90	15,30	121,50
DQO	mg/l	73,08	45,12	15,90	140,80
NO ₃	µmol/l	9,16	11,86	0,49	34,99
NH ₄	µmol/l	44,38	41,06	15,37	174,00
NTI	µmol/l	53,70	42,00	22,00	190,70
NT	µmol/l	524,70	632,40	84,90	2304,0
NO	µmol/l	469,00	636,79	14,66	2267,28
PO ₄	µmol/l	7,68	8,08	2,68	33,33
P. T.	µmol/l	22,42	20,55	11,09	73,67

La temperatura varió entre 22,7 °C en febrero de 2006 y 31,8 °C en octubre de 2007. Normalmente, el comportamiento de la temperatura en estos ecosistemas someros responde a la hora y época en que se realiza su medición. Debido a la poca profundidad del lugar la temperatura presenta notables fluctuaciones diurnas (Alzieu, 1994).

En la laguna, la salinidad fluctúa entre 19,9 y 35,5 UPS, por lo que se clasifica como mixohalina (Montalvo y Perigó, 1999). La disminución de la salinidad está relacionada con el vertimiento de las aguas residuales procedentes de la comunidad de Los Cocos y las residencias circundantes ya que esta laguna no presenta comunicación con fuentes de aguas dulce.

La concentración de OD en la laguna varió entre 0,75 mg/l en Mayo/ 2007 y 9,58 mg/l en Febrero/2006. Esta variabilidad está relacionada con la afluencia de residuales a la laguna y su declinación o aumento se vincula con los procesos de degradación microbiana de los residuales en la columna de agua, la fotosíntesis superficial y la demanda bental, lo cual es común en estos ecosistemas, donde los sedimentos regularmente presentan condiciones anóxicas con presencia de ácido sulfhídrico. Las más bajas concentraciones de OD se encuentran en las estaciones 3 y 4 (Fig. 2), las cuales, se sitúan junto al emisor de las aguas residuales de la comunidad de Los Cocos.

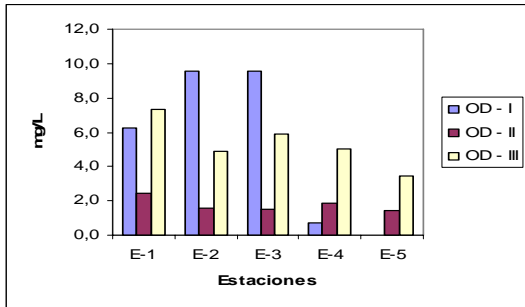


Figura 2. Distribución del oxígeno disuelto OD en la laguna (I: febrero/2006, II: mayo/2007, III: octubre/2007).
 Figure 2. Distribution of dissolved oxygen OD in the lagoon (I: February/2006, II: May/2007, III: October/2007).

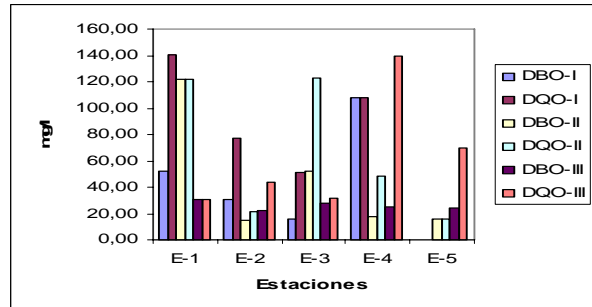


Figura 3 Distribución de la DBO₅ y DQO en la laguna (I: febrero/2006, II: mayo/2007, III: octubre/2007).
 Figure 3. Distribution of DBO₅ and DQO in the lagoon (I: February/2006, II: May/2007, III: October/2007).

La DBO₅ varió entre 15,3 mg/l y 121,5 mg/l, reflejando el elevado grado de deterioro del ecosistema como consecuencia del vertimiento de los residuales domésticos de la comunidad de Los Cocos. Las concentraciones de materia orgánica en algunos casos son comparables con las halladas en residuales domésticos sin tratar, encontrándose en las estaciones 3 y 4 (Fig. 3) las mayores concentraciones de materia orgánica. Estas estaciones son las más próximas al vertimiento de residuales.

La concentración de la DQO presentó un valor medio de 73,08 mg/l (Fig. 3) y un valor máximo de 140,80 mg/l, en febrero del 2006. La concentración de materia orgánica clasifica a la laguna como distrófica, lo que causó la mortandad de peces por sus condiciones anóxicas en 1989 (Perigó *et al.* 2006).

De las sales inorgánicas, el amonio resultó el más abundante. En las lagunas costeras el amonio es la fuente principal de nitrógeno inorgánico (Contreras, 1993; Perigó, Montalvo y García, 1999) con una proporción del 82,7 % con relación al NTI. Los contenidos de este compuesto oscilaron entre 15,37 y 174,00 µM/l. en la estación 4 (Fig. 4). El elevado contenido de amonio en la laguna indica que está influenciado por el vertimiento de aguas residuales domésticas. Considerando el estado reductor de la laguna, las concentraciones de las formas oxidadas del nitrógeno son relativamente bajas, comparándolas con las formas reducidas (Tabla 1). Las concentraciones de estos compuestos en la laguna, corresponden a aguas marinas con condiciones variables entre eutróficas e hipertróficas (Wetzel, 1985).

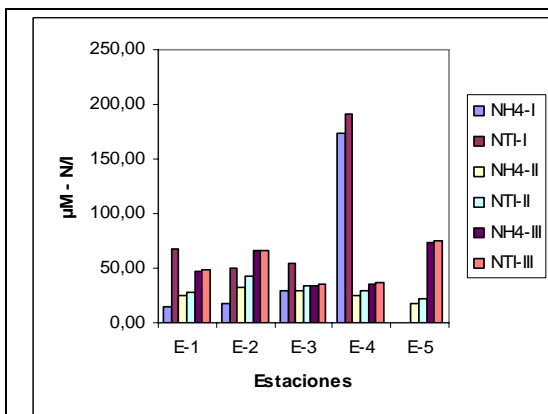


Figura 4 Distribución del amonio NH₄ y del

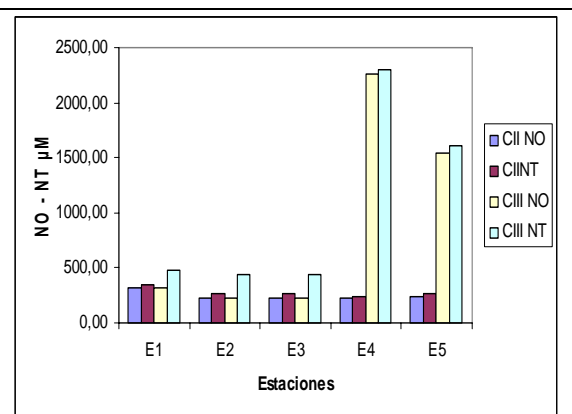


Figura 5. Distribución del nitrógeno orgánico NO y

nitrógeno total inorgánico NTI en la laguna (I: febrero/2006, II: mayo/2007 y III: octubre/2007).
Figure 4. Distribution of ammonium NH₄ and total inorganic nitrogen NTI in the lagoon, (I: February/2006, II: May/2007, III: October/2007).

nitrógeno total NT en la laguna (I: febrero/2006, II: mayo/2007 y III: octubre/2007).
Figure 5. Distribution of organic nitrogen NO and total nitrogen NT in the lagoon, (I: February/2006, II: May/2007, III: October/2007).

Las concentraciones de nitrógeno orgánico y total en el agua, están influenciadas por los aportes de residuales domésticos los cuales contienen altas concentraciones de proteínas, aminoácidos y también, urea y el ácido úrico derivados del metabolismo de las proteínas. Además, debe considerarse el aporte del fitoplancton y las bacterias que se encuentran en el agua y se cuantifican en la determinación del nitrógeno total. (Pierre - Carmouze, 1994; Baisre, 2006). En la estación 5 la concentración máxima de nitrógeno total (2267,28 µM/l) fue similar a la de nitrógeno orgánico (2267,3 µM/l) (Tabla1, Fig.5). En esta estación se concentra un volumen notable de residuales procedente de una instalación turística, además de ser la porción de menor profundidad y mayor estrechez de la laguna.

La forma fundamental del fósforo en el ambiente acuático es el ortofosfato que proviene principalmente de la intemperización de la roca y adicionalmente, de las descargas industriales y domésticas en forma de desecho orgánico y fertilizantes. En la laguna el máximo de fósforo total fue de 33,33 µM/l, la concentración promedio en la etapa de estudio fue 7,68 µM/l. La concentración mayor de fósforo total alcanzó 73, 70 µM/l, y se encontró en la estación 4 (Fig. 6), cercana al punto de vertimiento de los residuales. Wetzel (1985) clasifica al ecosistema costero como hipertrófico cuando la concentración de fósforo supera los 49 µM/l.

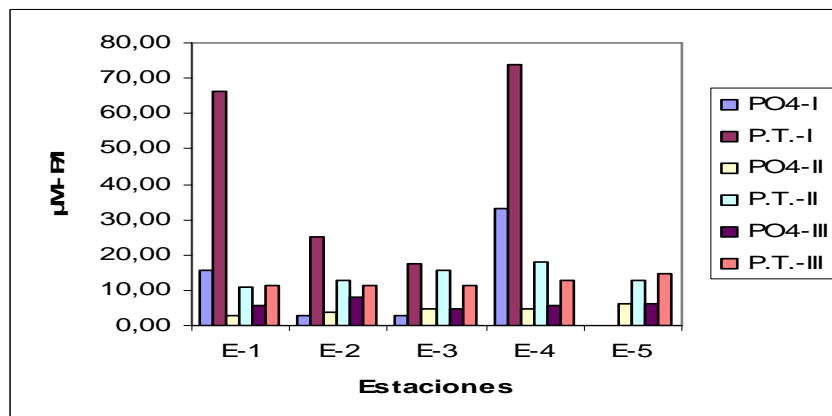


Figura 6. Distribución del fósforo inorgánico PO₄ y fósforo total P.T. en la laguna (I: febrero/2006, II: mayo/2007 y III: octubre/2007).

Figure 6. Distribution of inorganic phosphorus PO₄ and total phosphorus PT in the lagoon (I: February/2006, II: May/2007, III: October/2007).

Los sedimentos de la laguna son finos y fangosos y normalmente, presentan una coloración oscura, son anóxicos y tienen un olor desagradable debido a la presencia de ácido sulfhídrico.

La concentración media de CO fue de 8,05% con una alta variabilidad (Tabla 2). Valores significativamente altos de CO se encontraron en la estación 5 (Fig. 7) con una concentración 18, 37 % en Mayo de 2007 y 15, 09 % en octubre de 2007.

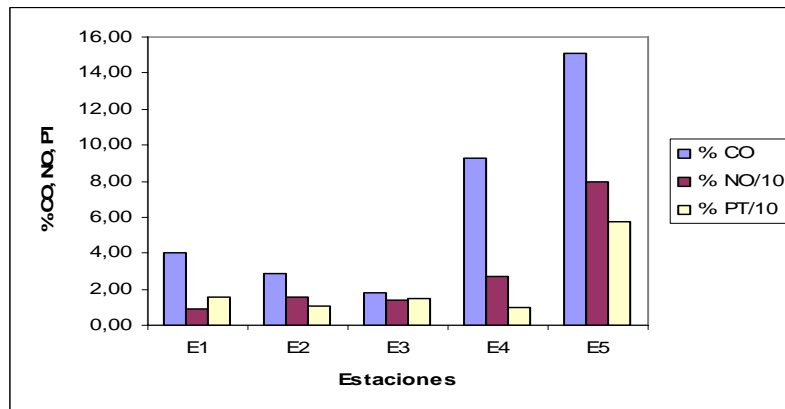


Figura 7 Concentraciones carbón orgánico CO, nitrógeno orgánico NO y fósforo total PT en sedimentos superficiales en la laguna El Doctor.

Figure 7. Concentrations of organic carbon CO, organic nitrogen NO and total phosphorus PT in superficial sediments in El Doctor Lagoon.

En la mayoría de la zona de estudio los niveles de CO estuvieron muy por encima de 2,3 % correspondiente a sedimentos con una elevada demanda bental de oxígeno, además de clasificarse como de “mala calidad” de acuerdo con la NC:

22-99 y NC: 25-99. Las altas concentraciones del CO, coinciden con las mayores del NO, el cual presentó un máximo de 4,01 % en la estación 5, valor muy por encima de las normas de calidad de agua. Estos sedimentos se caracterizan por una alta liberación de nitrógeno a la columna de agua lo que incrementa el estado de eutrofización de la laguna. En toda la laguna se encontraron altas concentraciones de fósforo y también en la estación 5, se encontró la mayor concentración.

La concentración de NO permite afirmar que la mayoría de los sedimentos se encuentran enriquecidos en nitrógeno lo cual favorece su liberación a la columna de agua por los procesos heterotróficos que se desarrollan por la intervención de hongos y bacterias que por amonificación, son los responsables de aportar a la columna de agua dicha sal. La riqueza relativa de NO en los sedimentos puede tener una elevada componente de origen antrópico a consecuencia de los fenómenos de eutrofización inducidos por el enriquecimiento de nutrientes en la zona (Anderson, Glibert y Burkholder, 2002).

El fósforo total promedió 0,16 %, con un máximo de 0,58 % en la estación 5 (Fig.7). Estos compuestos son acarreados por las aguas residuales de la comunidad de Los Cocos y viviendas aledañas a la laguna, siendo estas el principal medio de entrada del fósforo en los ambientes costeros con fuerte influencia de escurrimientos terrígenos. Los altos tenores del fósforo en los sedimentos se deben a su habilidad de ser absorbidos por las partículas de los sedimentos. Los procesos biogeoquímicos que tienen lugar en los sedimentos superficiales en las lagunas costeras provocan la liberación de fosfato a la columna de agua, lo cual se ve favorecido por la disminución del pH a consecuencia de la formación de ácido sulfhídrico. La reducción del sulfato por las bacterias sulforeductoras en sedimentos anóxicos, crea un notable aumento en el estado de hipereutrofización en la laguna (Day, Hall, Kemp y Yañez- Arancibia, 1989; Martínez – Daranas, Cano Mallo y Perdomo, 2007).



En la estación 5 el ácido sulfhídrico presenta concentraciones entre 13, 54 mg/L y 92, 87 mg/L (Tabla 2). Estas concentraciones son propias de sedimentos con un notable grado de descomposición que provoca la liberación del gas a la columna de agua, el cual, puede resultar altamente tóxico para los organismos bentónicos en general (Wetzel, 1985)

Cuando comparamos las concentraciones de las principales variables químicas en la laguna costera El Doctor, esta se puede considerar como la más contaminada del país, aun por encima de la laguna costera La Capitana, la cual recibe los residuales de las actividades de los estanques de la camaronicultura en Tunas del Zaza (Montalvo y Perigó, 2000).

Tabla 2. Valores promedios, desviación estándar, mínimo y máximo de carbón y nitrógeno orgánico, fósforo total y ácido sulfhídrico en sedimentos superficiales en la laguna El Doctor.

Table 2. Average values, standard deviation, minimum and maximum of organic carbon and nitrogen, total phosphorus and hydrogen sulfide in El Doctor Lagoon.

Parámetro	Unidad	Media	S	Mínimo	Máximo
Carbón Orgánico	%	8,05	6,27	1,83	18,37
Nitrógeno Orgánico	%	0,888	1,274	0,284	4,001
Fósforo Total	%	0,159	0,136	0,102	0,578
H ₂ S	mg/l	38,29	30,15	13,54	92,87

Las concentraciones de coliformes totales (CT) en todos los muestreos variaron entre 400 NMP/100ml en la estación 1, en mayo de 2006, hasta valores superiores a 1000 NMP/100ml en todas las demás estaciones (Tabla 3). Los valores de coliformes fecales (CF) se encontraron entre un mínimo de 400 NMP/100ml en la estación 1 en mayo de 2007, y un máximo de 11000 NMP/100ml en la misma fecha, en la misma estación. Por otra parte, las concentraciones de estreptococos fecales variaron entre 240 NMP/100mL en las estaciones 1, 4 y 5 (en octubre de 2007) y un máximo de 900 NMP/100mL en la estación 3, lo cual indica una elevada contaminación fecal en la laguna El Doctor en los dos muestreos realizados. Esta situación se hace más crítica en el mes de octubre debido posiblemente, a que se tomaron las muestras durante una semana donde ocurrieron fuertes y constantes precipitaciones. Las precipitaciones provocan un aumento del escurrimiento terrígeno y por tanto, un incremento en los niveles de bacterias coliformes.

En la laguna El Doctor la carga contaminante está representada por materia orgánica (Perigó *et al.*, 2006) y bacterias fecales, las cuales, como es conocido, son causantes de infecciones gastrointestinales, respiratorias e infecciones en los ojos, cavidad nasal y en la piel que generan altos porcentajes de morbi-mortalidad en la población (Figueras, Borrego, Pike, Robertson, y Ashbolt, 2000; FAO/OMS, 2004).

En base a los valores de concentración de bacterias coliformes fecales detectados y aplicando las categorías de "peligro" propuestas por Delgado (2007), que refieren concentraciones de coliformes fecales superiores a 500 NMP/100 ml como un peligro "muy alto", puede considerarse que en la laguna El Doctor, existe un peligro "muy alto" para la salud. El riesgo que constituye este peligro para la salud depende también del estado inmunológico de las personas que tengan contacto con las aguas contaminadas, y del grado de exposición a los contaminantes (Bartram, Fewtrell, y Stenström, 2001), no obstante, conociéndose que existe, debe evitarse.



Tabla 3. Concentraciones de bacterias coliformes totales, fecales y estreptococos fecales en las estaciones muestreadas en mayo y octubre 2007.

Table 3. Concentrations of total and fecal coliform bacteria and fecal streptococcus at the stations sampled in May and October 2007.

Estación	Coliformes totales (NMP/100mL)	Coliformes fecales (NMP/100mL)	Estreptococos fecales (NMP/100mL)
Mayo de 2007			
1	400	400*	400*
3	1100*	1100*	900*
Octubre de 2007			
1	1100*	860*	240*
2	1100*	900*	440*
4	1100*	900*	240*
5	1100*	860*	240*

*valores por encima de los permisibles en la NC: 22 - 99 "Lugares de Baño en Costas y en Masas de Aguas Interiores" con contacto directo.

*values over the permissible in NC: 22 - 99 "Bathing sites in Coasts and Inner Water Masses" with direct contact.

Las bacterias coliformes fecales o termo tolerantes constituyen un subgrupo dentro de los coliformes totales que poseen una relación más directa y cerrada con la contaminación fecal homeotérmica (WHO, 2003). Estas bacterias tienen un tiempo corto de supervivencia en el agua de mar, por lo que su detección indica una contaminación de origen fecal reciente, como es el caso de la estación 1 donde el constante vertimiento de residuales con contaminantes albañales hace permanente la presencia de estos microorganismos.

A esta situación se suma el efecto de la temperatura del agua, la cual, en el área de estudio osciló entre 31 y 33 °C, lo que favorece que aumente el tiempo de sobrevivencia de estas bacterias en las aguas marinas costeras.

Los estreptococos fecales son un grupo integrado por especies que suelen estar presentes tanto en heces humanas como de animales de sangre caliente y en las aves, de ahí que su presencia en el ambiente indique contaminación de origen fecal, aunque están muy asociados a la presencia de bañistas. Estos microorganismos se encuentran muy relacionados con la ocurrencia de enfermedades gastrointestinales.

Modelo de simulación.

La aplicación del modelo de simulación del déficit de oxígeno considerando diferentes porcentajes de reducción de los residuales que llegan a la laguna (Fig. 8), indica que a partir de un 80 % de remoción de materia orgánica la concentración del OD supera los 3,00 mg l⁻¹. Montos de oxígeno inferiores a este umbral clasifican a un cuerpo de agua marina de circulación limitada como "muy contaminado por materia orgánica". En la laguna El Doctor, existe un marcado déficit de oxígeno disuelto en el agua, asociado a la degradación microbiológica de la materia orgánica de origen alóctono y por otra parte, las constantes de desoxigenación y aireación (Tabla 5) son típicas de cuerpos de aguas receptores de residuales domésticos. El modelo calibrado describe de forma satisfactoria la dispersión y advección de la carga orgánica contaminante que llega al

sistema, lo cual también ha sido corroborado en otros ecosistemas cubanos de circulación limitada como el estuario del río Las Casas (Perigó, Álvarez, Montalvo, Rodas, Martell, Niévares, Peón y Esponda, 2002).

Tabla 4. Parámetros empleados en la modelación de la capacidad de autodepuración de la laguna El Doctor (Prof.: profundidad, L: longitud de cada segmento, V: velocidad de la corriente, OD: oxígeno disuelto, DBO₅: demanda bioquímica de oxígeno, DBO_u: demanda bioquímica última de oxígeno, T: tiempo).

Table 4. Parameters used for modeling the self-purification capacity of El Doctor Lagoon (Prof.: depth, L: length of each segment, V: speed of the current, OD: dissolved oxygen, DBO₅: biochemical oxygen demand, DBO_u: ultimate biochemical oxygen demand, T: time).

Est.	Prof. (m)	L (m)	V (m/s)	OD (mg/l)	Déf. OD (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	DBO _u (mg/l)	T (días)
1	0,60	240	0,04	2,41	3,36	121,5	161,5	1,10
2	0,68	160	0,05	1,60	1,23	15,3	20,3	0,91
3	0,72	410	0,07	1,48	6,50	52,5	69,8	1,80
5	0,70	880	0,06	1,86	2,53	17,4	23,1	1,46

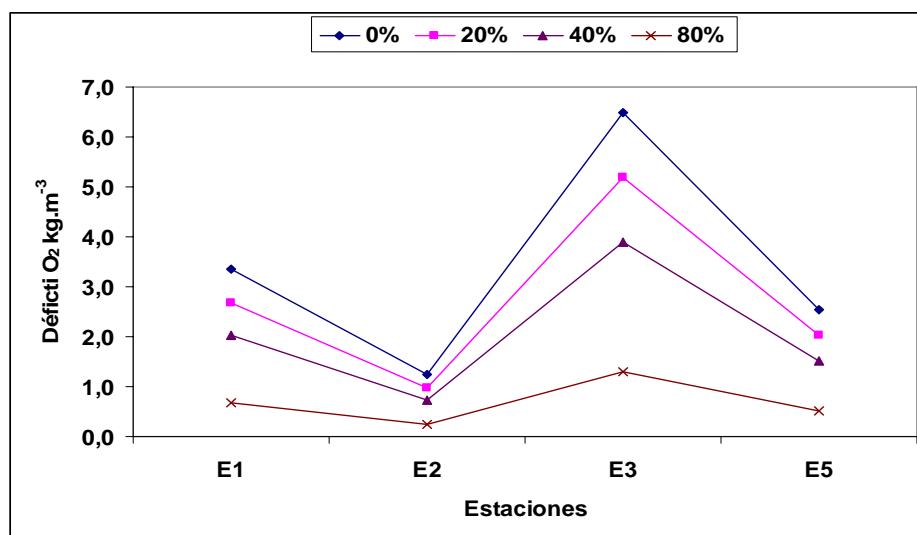


Figura 8. Déficit de oxígeno disuelto estimado a partir de los diferentes porcentajes de reducción de los residuales sin tratamiento (0 %) y tratamiento de 20%, 40% y 80 % correspondiente a mayo del 2007.

Figure 8. Dissolved oxygen deficit estimated from the different reduction percents of untreated wastes (0 %), and the treatment of 20%, 40% and 80 %, corresponding to May 2007.



Tabla 5. Valores medios de diferentes variables empleadas en la simulación del déficit de oxígeno en la laguna El Doctor (Do: déficit inicial de oxígeno, Lo: balance inicial de la demanda inicial de oxígeno, k_1 : coeficiente de desoxigenación, k_2 : coeficiente de reareación, T: tiempo, Def. OD: déficit de oxígeno calculado).

Table 5. Average values of different variables used in the simulation of oxygen deficit in El Doctor Lagoon (Do: initial oxygen deficit, Lo: initial balance of the initial oxygen demand, k_1 : coefficient of de-oxygenation, k_2 : coefficient of re-aeration, T: time, Def. OD: calculated oxygen deficit).

Est.	Do (Kg/m ³)	Lo (Kg/m ³)	k_1 (días ⁻¹)	k_2 (días ⁻¹)	T (días)	Def. OD (Kg/m ³)
1	6,63	40,6	0,1851	1,67	1,1	3,36
2	3,68	20,35	0,1359	1,84	0,91	1,23
3	4,58	69,38	0,223	1,71	1,8	6,5
5	4,16	23,14	0,24	1,572	1,46	2,53

En la laguna El Doctor se identificaron numerosos impactos ambientales, los más negativos se relacionan en la Tabla 6. El impacto mas significativo de la contaminación orgánica es el agotamiento del oxígeno disuelto hasta condiciones de hipoxia y/o anoxia en la columna de agua. No obstante, los peores efectos se verán en los sedimentos donde las partículas de material orgánico se depositan y por la escasa penetración de la luz, la fotosíntesis se hace nula, lo cual elimina el poder autodepurador del oxígeno disuelto para oxidar esta materia orgánica. Las condiciones reductoras que provocan la formación del sulfhídrico y el metano, causan un fuerte impacto a los organismos bentónicos, y en menor medida, a los organismos que viven enterrados en el sedimento, los cuales presentan una mayor tolerancia a estas perturbaciones. Todos estos organismos sufren un impacto negativo en su estructura y composición (Montalvo y Perigó, 1992; Pierre – Carmouze, 1994).



Tabla 6.- Relación de los principales impactos y respuestas en la laguna El Doctor: QF (químico físico), BE (biológico – ecológico), SC (socio cultural) y EO (económico – operacional)

Table 6. List of the main impacts and responses in El Doctor Lagoon: QF (chemical-physical), BE (biological-ecological), SC (socio-cultural), and EO (economic-operational).

Impacto Ambiental	Factor ambiental	Acción Impactante	Medida de Mitigación
Disminución de la concentración de oxígeno disuelto (FQ)	Aguas superficiales y marinas	Vertimiento de residuales domésticos y albañales	Tratamiento de residuales
Aumento nocivo de nutrientes en la masa de agua (FQ)	Aguas superficiales y marinas	Vertimiento de residuales líquidos y domésticos	Tratamiento de residuales
Aumento nocivo de la DBO ₅ (FQ)	Aguas superficiales y marinas	Vertimiento de residuales líquidos y domésticos	Tratamiento de residuales
Incremento de los coliformes fecales en las aguas del río, la laguna y el mar (FQ)	Aguas superficiales y marinas	Vertimiento de residuales albañales	Tratamiento de residuales
Incremento de los estreptococos fecales en las aguas del río, la laguna y el mar (FQ)	Aguas superficiales y marinas	Vertimiento de residuales albañales	Tratamiento de residuales
Pérdida y/o destrucción de la vegetación natural (BE)	Vegetación	Tala y/o desbroce de la vegetación autóctona	Reforestación
Pérdida y/o destrucción del manglar (BE)	Vegetación	Tala o desbroce del manglar	Reforestar con especies de mangle
Afectación a la fauna terrestre y marina (BE)	Fauna	Tala y/o desbroce de la vegetación autóctona y el manglar.	Reforestación
Mortalidad masiva de organismos marinos (BE)	Biota marina	Vertimiento de residuales domésticos y albañales oxígeno disuelto.	Tratamiento de residuales
Aumento de la ocurrencia de enfermedades infecciosas (SC)	Salud	Vertimiento de residuales líquidos y domésticos	Tratamiento de residuales
Aumento de las emisiones de malos olores (SC)	Salud	Existencia de vertederos y micro vertederos	Eliminar los vertederos y micro vertederos
Proliferación de vectores (SC)	Salud	Existencia de vertederos y micro vertederos	Eliminar los vertederos y micro vertederos



CONCLUSIONES

1. La laguna costera El Doctor presenta un alto grado de eutrofización debido al elevado contenido de materia orgánica y nutrientes en sus aguas y sedimentos.
2. Las concentraciones de bacterias coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales en las aguas de la laguna “El Doctor” se encuentran por encima de la Norma Cubana NC: 22-99 para aguas de baño, y son comparables a las aguas albañales crudas.
3. El poder de auto depuración en la laguna El Doctor es mínimo por su limitada comunicación con el estuario del río Baracoa y la alta carga contaminante que recibe de la comunidad Los Cocos.

RECOMENDACIONES

- Construir un sistema de tratamiento del tipo “humedal construido” fuera de la localidad poblacional, para no ocasionar infección alguna a los habitantes de dicha localidad y que los nutrientes puedan ser utilizados posteriormente como fértil riego.
- Reforestar el mangle que bordea la laguna.
- Prohibir el consumo de peces, ya que pueden estar contaminados por organismos planctónicos potencialmente tóxicos.
- Prohibir el uso de la laguna como área de baño.
- Continuar monitoreando la calidad de la laguna El Doctor.

BIBLIOGRAFÍA

Alcaide, J., Gutiérrez, B. y Valdés, G. 2004. Sistema de indicadores medio ambientales para el análisis de la calidad ambiental en Consejos Populares del municipio Bauta. VII Taller Intern. GEOINFO - 2004, ISBN 1028-8961.

Alzieu, C. 1994. El agua medio de cultivo. Bernabé; G. (ed.) Acuicultura (I), Ed. Omega, S. A. Barcelona, págs. 1 -27.

Anderson, D. M., Glibert, P. M. y Burkholder, J. M. 2002. Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrients sources, composition and consequences. *Estuarios*, 25:707 - 726.

APHA, 1992 Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 19th Edition, American Public Health Association, Washington, D.C.

Baisre, J. 2006. Assessment of nitrogen flows into the Cuban landscape *Biogeochemistry*, 79: 91 - 108.

Bartram, J., Fewtrell, L. y Stenström, T. A. 2001. Harmonized assessment of risk management for water- related infectious disease. An overview. En: Fewtrell, L. y Bartram, J. (eds.). *Water Quality: Guidelines, standards and health. Assessment of risk and risk management for water- related infectious disease*. London, IWA Publishing, págs. 1 - 16.

Contreras, F. 1993, *Ecosistemas costeros mexicanos*. Comisión Nac. Para el conocimiento y uso de la Biodiversidad. UNAM, Iztapalapa, 415 pp.



Cotner, J. B., Suplee, M. W., Chen, N. W. y Shormann, D. E. 2004. Nutrient, sulfur and carbon dynamics in a hypersaline lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 59: 639 - 652.

Day, J. W., Hall, C. A., Kemp, W.M. y Yañez- Arencibia, A.1989. *Estuarine Ecology*. (eds.) John Wiley and Sons, 558 pp.

Delgado, Y. 2007 Niveles de riesgo y vulnerabilidad ante la contaminación fecal en un segmento costero de Ciudad Habana. Tesis de Maestría. Instituto de Oceanología. La Habana, 67 pp.

De la Lanza, E.G, Rodríguez – Medina, M. A. y Soto, L. A. 1991. Análisis ecológico de los productores primarios en la Laguna de Términos, Campeche. *Universidad y Ciencias*, 8 (15): 15 - 25.

De la Lanza, E.G.1998. Aspectos físicoquímicos que determinan la calidad del agua. En Martínez – Córdova (Eds.) *Ecología de los Sistemas Acuícolas*. AGTEDITOR, SA, págs.1- 26.

FAO. 1975. Manual of Methods in Aquatic Environmental Res. Part1. Methods for detection and monitoring of water pollution. *FAO Fish. Tech. Paper.*, 137, 237 pp.

FAO/OMS. 2004. Caracterización de peligros de patógenos en alimentos y el agua. *Serie de Evaluación de Riesgos Microbiológicos*, 59 pp.

Figueras, M. J., Borrego, J. J., Pike, E. B., Robertson, W. y Ashbolt, N. 2000. Sanitary Inspection and Microbiological water Quality. Monitoring Bathings Waters. *A practical guide to the design and implementation of assessments and monitoring programmes*. (Eds). WHO, págs. 114 -167.

IOC-UNESCO. 1993. *Nutrient analysis in tropical marine waters*. Manual and guides, 33, 110 pp.

González Sansón, G. 2002. Biodiversidad marina y desarrollo: conflictos y soluciones en el Caribe. Universidad de Cádiz, Serv. de Publicaciones.

Martínez – Daranas, B., Cano Mallo M., y Perdomo, M. E. 2007. Estado de los pastos marinos. En: *Ecosistema Sabana Camaguey, Estado actual y, avances y desafíos en la protección y uso sostenible de la biodiversidad*. (ed.) P. M. Alcolado, págs. 51 – 61.

Montalvo, J. F. y Perigó, E. 1992. Evaluación de factores hidríquímicos en la laguna costera Portillito, Pilón, Granma, Cuba. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*, 18: 136 - 139.

Montalvo, J. F. y Perigó, E.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*, 0:126 - 129.

Montalvo, J. F. y Perigó, E. 2000. Compuestos de nitrógeno y fósforo y grado de eutroficación en lagunas costeras de Tunas de Zaza, Cuba. *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental*, 1: 60 – 65.

NC - 22: 1999. Norma cubana. Sistema de normas para la protección del medio ambiente. Hidrosfera. *Lugares de baños en costas y en masas de agua interiores. Requisitos higiénicos sanitarios*.

NC - 25: 1999. Norma cubana. Sistema de normas para la protección del medio ambiente. Hidrosfera. *Evaluación de objetos hídricos de uso pesquero*.

Perigó, E., Montalvo, J. F. y García, I. A. 1999. Impacto ambiental en ecosistemas litorales del sur de la provincia de Sancti Spiritus (Cuba) *Contribución a la Educación y la Protección Ambiental*, 0: 220 – 224.

Perigó, E., Álvarez, A., Montalvo, J. F., Rodas, L., Martell, R., Niévares, A., Peón, C. y Esponda, S. 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*, 3. ISBN 959 -7136 -13-9



Perigó, A., Perigó E., Montalvo J. F, Chang, E., Cesar, M. E., García, R. 2006. Evaluación de factores hidroquímicos indicadores de contaminación orgánica en la laguna costera El Doctor, Playa Baracoa. Cuba. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*, 36: 12 - 16.

Pierre – Carmouze, J. 1994. OMETABOLISMO DOS ECOSISTEMAS AQUÁTICOS. Fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas. (Ed) FAPESP, 254 pp.

Rivas - Rodríguez, L., Perigó, E. Izquierdo, M. y Miravet, M. E. 2009. Problemática ambiental en tres ecosistemas costeros del poblado Baracoa: Impactos y soluciones. *Serie Oceanológica*, 5: 57 - 73.

Thomann R. 1972. *System analysis and water quality management*. Environmental Reseach and Aplications, New York.

Wetzel, R.G. 1985. *Limnology*. Saunder College Pub., Pha., 745 pp.

Recibido:30 de noviembre 2009

Aceptado: 16 de diciembre 2009