

Evaluación temporal de la calidad de las aguas del río Los Guaos de Santiago de Cuba

*Temporal Evaluation for the Quality of Waters of the Los Guaos River
of Santiago de Cuba*

*Dra. C. Alina M. Marañón-Reyes, MSc. Norma E. Pérez-Pompa, Lic. Ariamna M. Dip-Gandarilla,
Dra. C. Alina González-Marañón, Dra. C. Rosa M. Pérez-Silva, Lic. Augusto Ruiz-Estrella*
*alinapga@cnt.uo.edu.cu; norma@cnt.uo.edu.cu; agm@cnt.uo.edu.cu;
rmaria@cebi.uo.edu.cu; augusto@cnt.uo.edu.cu*



*Departamento de Química, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Oriente,
Santiago de Cuba, Cuba*

● Resumen

La falta de mantenimiento, las operaciones no adecuadas, así como el deficiente control y monitoreo de la calidad de las aguas, y la poca introducción de prácticas de producción más limpias por parte de las principales entidades contaminadoras han provocado una gran contaminación de las principales cuencas hidrográficas de Santiago de Cuba. Entre ellas se encuentra el río Los Guaos, que aporta un alto porcentaje de carga contaminante a la bahía santiaguera. Resulta de gran interés realizar un estudio de evaluación de la calidad de las aguas de este río para establecer su calidad y posible uso. Se estudiaron cinco estaciones de monitoreo durante el período enero-abril. Se determinaron veintitrés parámetros físicoquímicos y dos microbiológicos. Se compararon los resultados con las Normas Cubanas de agua potable, abasto, baño y pesca. Se emplearon métodos estadísticos para la evaluación. Según los resultados obtenidos, estas aguas están contaminadas desde cerca de su nacimiento, lo que invalida su uso sin tratamiento previo. Las mismas se encuentran afectadas por el fenómeno de eutrofización.

Palabras clave: calidad de agua, ecosistema fluvial, Cuba.

● Abstract

The lack of maintenance, inadequate operations and poor control and monitoring of water quality, and little introduction of cleaner production practices by major polluting entities have caused great pollution of major river basins Santiago de Cuba. Among them, is the Los Guaos river which provides a high percentage of pollutant load to the Bay of Santiago. It is of interest to conduct a study to evaluate the water quality of this river, to establish their quality and potential use. Five monitoring stations were studied during the period from January to April. Twenty-three physicochemical parameters and two microbiological parameters were determined. The results were compared with the Cuban Standards for drinking water supply, swimming and fishing and statistical methods were used for evaluation. According to the results, these waters are polluted from near its source, which invalidates their use without treatment. These waters are affected by eutrophication.

Keywords: quality of water, fluvial ecosystem, Cuba.

● Introducción

La estabilidad de los ecosistemas se encuentra constantemente amenazada por la actividad antropogénica. En este sentido, los sistemas acuáticos son receptores de toda clase de desechos que, en su mayoría, son orgánicos. Se detecta, además, la presencia de compuestos tóxicos, considerados agresivos por su persistencia en los sedimentos /1/.

La cuenca hidrográfica Guaos-Gascón está formada por el río Los Guaos y el río Gascón. El primero se localiza en la parte oeste de la ciudad de Santiago de Cuba. El mismo presenta una de las cuencas más pequeñas y, a la vez, más contaminadas de la provincia, debido a la influencia del hombre, ya sea por la actividad industrial, agropecuaria, o cotidiana.

El desarrollo acelerado y no sustentable de la cuenca ha modificado la naturalidad del río y variado su cauce por problemas de drenaje en las partes bajas. Los asentamientos poblacionales han afectado el entorno natural y se han tomado áreas para establecer cultivos, entre otros /2, 3/. El río aporta un alto porcentaje de la carga contaminante,

fundamentalmente de origen orgánico, a la bahía santiaguera, lo que hace de este ecosistema uno de los de mayor fragilidad en el entorno de la ciudad /4/.

En Cuba existen normas que regulan los criterios de calidad de las aguas según su uso, como los requisitos para agua potable /5/, agua para abasto /6/, agua para pesca /7/ y aguas para baño /8/. Si se conocen las características de las aguas de un río es posible establecer la calidad y el uso correcto de las mismas.

El objetivo de este trabajo es analizar la variación temporal de los indicadores que más afectan la calidad del agua del río Los Guaos, a través de la caracterización físico-química y microbiológica de la misma.

● Métodos experimentales

Descripción del área de estudio

El río Los Guaos limita al norte con las estribaciones de la Sierra de Boniato, al sur con la Bahía de Santiago de Cuba, al este con la cuenca del río Gascón y al oeste con la cuenca del río Parada. Presenta una extensión de 11 km y una cuenca de 24,3 km² de superficie (figura 1), con relieve entre llano y ondulado.

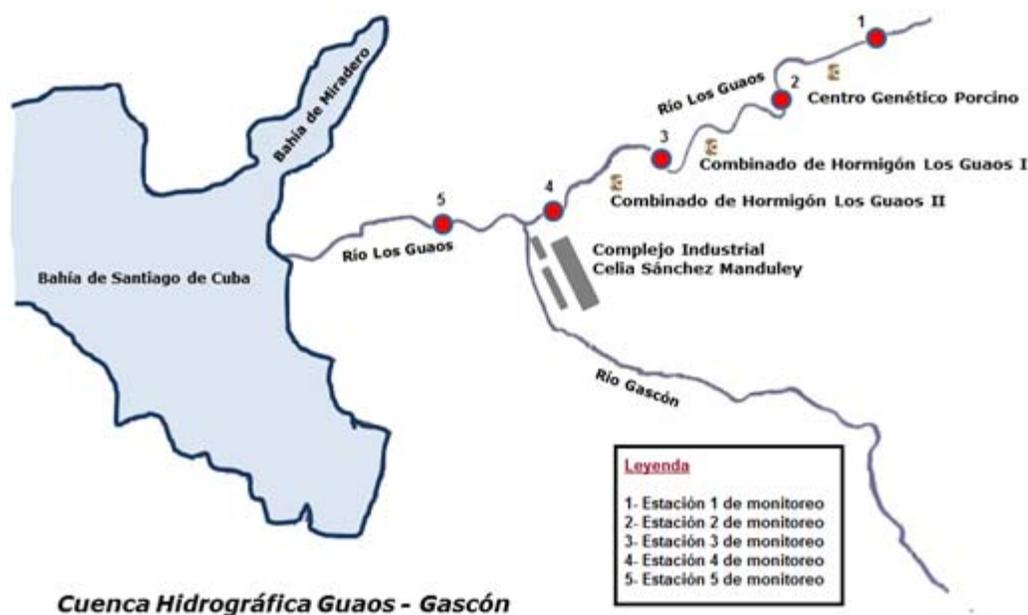


Fig. 1 Esquema de la zona objeto de estudio. Ubicación de las estaciones de monitoreo

La zona se caracteriza por un clima tropical seco, con períodos de lluvia aislados y temperatura promedio anual de 29 °C. En la red fluvial se localizan 16 focos contaminantes de diferentes orígenes, que afectan la calidad de las aguas. Los focos fundamentales son el Centro Genético Porcino, el Combinado "Los Guaos" I y II, y el Complejo Industrial "Celia Sánchez Manduley" /9/. La localización de las estaciones de muestreo se llevó a cabo según la metodología establecida en las Normas Cubanas ISO /10-12/.

Se realizaron cuatro muestreos comprendidos entre los meses enero-abril del 2011. Se establecieron cinco estaciones de monitoreo a lo largo del río como se observa en la figura 1. Para la ubicación de las mismas se tuvieron en cuenta resultados de estudios anteriores, la localización de fuentes contaminantes, facilidad de acceso y la representatividad /13, 14/.

Estación 1: ubicada a 300 m antes que vierta sus residuales el Centro Genético Porcino. Zona con abundante vegetación en la orilla del río, fondo arenoso-pedregoso y presencia de vida acuática. En esta estación se evalúa la calidad de una zona aparentemente poco contaminada.

Estación 2: situada a 1 km de la estación 1, en el puente del poblado "El Castillito", después del vertido de las aguas residuales del Centro Genético Porcino. Posee malezas en las orillas, fondo arenoso-pedregoso y presencia de lino.

Estación 3: localizada en el kilómetro 1 ½ del Camino Viejo del Cobre, después que se vierten los desechos de la Cantera Los Guaos I. En esta zona se observa abundante vegetación en las cercanías y orilla, agua clara con lino en el fondo y sin existencia de vida acuática.

Estación 4: situada a 150 m de la Carretera de Mar Verde, después que vierte sus residuales el Complejo Industrial "Celia Sánchez Manduley", a 50 m antes de la unión con el río Gascón. En la zona se observa abundante vegetación, aguas turbias, poca presencia de vida acuática y fondo con abundante lino. Los pobladores de la zona la utilizan para baño de animales.

Estación 5: localizada a 600 m de la estación 4 y después de la unión de ambos ríos. La zona presenta abundante vegetación y lino en el fondo. Estas aguas

se emplean para diversos fines, fundamentalmente, para la fabricación de ladrillos. En las estaciones 2-5 se evaluará la influencia antropogénica.

Toma y conservación de las muestras

La toma y conservación de las muestras se realizó mediante la metodología establecida /11, 15/. La temperatura se determinó *in situ* y el oxígeno disuelto se fijó en el campo. Para el análisis de los parámetros físicoquímicos se tomaron muestras de agua por duplicado en cada estación, los análisis se realizaron por triplicado. La toma de muestras se realizó a 30 cm de la superficie de la columna de agua; se emplearon envases de plástico de 1,5 L de capacidad. Los valores de concentración representados para los diferentes parámetros evaluados son el promedio de veinticuatro determinaciones, excepto para los metales pesados que fue de seis determinaciones.

Parámetros físicoquímicos y microbiológicos analizados

Los indicadores determinados fueron seleccionados teniendo en cuenta los requisitos de las normas cubanas NC 93-01-105-1987, NCXX (1999), NC 827 (2010) y NC 93-11 (1986).

- Indicadores físicos y químicos del agua: temperatura (T), pH, nitrógeno como nitritos (N-NO₂⁻), nitrógeno como nitratos (N-NO₃⁻), nitrógeno amoniacal (N-NH₄⁺), fósforo en forma de fosfatos (P-PO₄³⁻), conductividad eléctrica (ë), sólidos totales (ST), sólidos totales fijos (STF) y volátiles (STV), sólidos sedimentables (SS), oxígeno disuelto (OD), demanda química de oxígeno (DQO), alcalinidad (HCO₃⁻), sulfato (SO₄²⁻), dureza total (DT), calcio (Ca²⁺), magnesio (Mg²⁺), sodio (Na⁺), potasio (K⁺), cloruro (Cl⁻), y los metales pesados según los métodos descritos en el Standard Methods /15/.

- Como indicador microbiológico se usó la concentración de coliformes termotolerantes o fecales (CF). Las muestras de agua se colectaron en superficie. La preservación de las mismas se hizo según las especificaciones de la NC-ISO:5667-3 (1994); se determinó por el método del número más probable (NMP/100 mL).

• Para determinar el nivel de eutrofia se siguió el criterio propuesto por Morris *et al.* (1988) que considera la relación nitrógeno inorgánico disuelto: fósforo total (Nid: PT), este último como nutriente que limita la productividad del sistema /16/.

Análisis estadístico: Los resultados experimentales fueron procesados mediante el programa Microsoft Office Excel 2007 con ayuda del Sistema Estadístico STATISTICA Versión 7. Una vez comprobado que los resultados obtenidos no cumplen los criterios de normalidad y homogeneidad, se aplican las pruebas de la estadística inferencial (métodos no paramétricos) y multivariada: test de Kruskal-Wallis, análisis de correlación de Spearman y prueba de hipótesis de comparación de medias (prueba U de Mann-Whitney) /17/.

● Resultados y discusión

Características físicoquímicas y microbiológicas de las aguas del río Los Guaos

Tras analizar los resultados experimentales obtenidos en cada una de las estaciones de muestreo

se comprueba que los indicadores T, pH, SS, ST, STF, STV, SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , Cl^- (excepto en las estaciones 4 y 5) y DT pueden considerarse como no contaminantes por encontrarse por debajo de la concentración máxima admisible (CMA), según las NC de agua potable /5/, para abasto /6/, uso pesquero /18/ y agua para baño /8/.

La *conductividad* es una medida del grado de mineralización de las aguas y de la carga iónica presente. Este parámetro varía a lo largo del río entre 562 y 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que indica alta salinidad de sus aguas debido a la presencia de sales inorgánicas /19/. Al recibir el río las aguas residuales agropecuarias (estación 2), se observa un aumento en el valor de dicho parámetro (tabla 1), que disminuye ligeramente en la estación 3. Estos resultados son similares a los encontrados en estudios preliminares /3, 20/. Los más altos valores de conductividad se obtienen en la estación 4, debido al vertido de los residuales procedentes del Combinado de Hormigón Los Guaos II y el Complejo Textil "Celia Sánchez Manduley"; una vez que se unen ambos ríos (Guaos y Gascón, estación 5) se produce una ligera disminución, aunque los valores se mantienen elevados debido a que en esta zona se vierten residuales sólidos procedentes de la fabricación de ladrillos.

TABLA 1. VALORES MEDIOS OBTENIDOS EN LAS DIFERENTES ESTACIONES DE MONITOREO PARA LOS INDICADORES ESTUDIADOS

Parámetro	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Estación 5
T (°C)	23 ± 0,90	24 ± 0,45	24 ± 0,00	24 ± 0,45	24 ± 0,45
pH (unidades)	6,8 ± 0,15	7,0 ± 0,19	6,9 ± 0,51	7,1 ± 0,36	7,2 ± 0,35
λ ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	562 ± 21,90	656 ± 27,24	605 ± 19,10	800 ± 16,89	722 ± 11,60
ST (mg/L)	499 ± 20,00	543 ± 24,85	525 ± 23,76	683 ± 12,66	607 ± 26,75
STF (mg/L)	374 ± 25,32	390 ± 35,70	388 ± 22,04	511 ± 37,75	441 ± 17,22
STV (mg/L)	125 ± 28,57	152 ± 34,35	136 ± 17,51	176 ± 28,79	166 ± 29,48
Ca^{2+} (mg/L)	87 ± 4,30	90 ± 2,50	84 ± 5,07	91 ± 2,01	80 ± 4,71
Mg^{2+} (mg/L)	23 ± 1,20	31 ± 1,47	32 ± 0,84	38 ± 0,95	41 ± 1,15
Na^+ (mg/L)	37 ± 2,43	36 ± 2,09	36 ± 1,30	61 ± 1,74	50 ± 2,22
K^+ (mg/L)	3 ± 0,18	16 ± 0,86	5 ± 1,06	6 ± 0,69	6 ± 0,32
Cl^- (mg/L)	136 ± 1,48	159 ± 2,30	194 ± 1,97	278 ± 2,70	206 ± 2,47
PO_4^{3-} (mg/L)	0,04 ± 0,001	2,20 ± 0,03	0,48 ± 0,002	0,35 ± 0,002	0,11 ± 0,003

Los valores de conductividad de la estación 1 presentan diferencias estadísticamente significativas respecto a las estaciones 2, 4 y 5, y la 3 con respecto a la 4 y la 5. La conductividad correlacionó de manera positiva ($n = 24$; $p < 0,05$) con Na^+ ($r^2 = 0,600$), K^+ ($r^2 = 0,600$), Ca^{2+} ($r^2 = 0,609$), Cl^- ($r^2 = 0,693$), SO_4^{2-} ($r^2 = 0,784$), HCO_3^- ($r^2 = 0,789$), ST ($r^2 = 0,972$) y STF ($r^2 = 0,941$), estos últimos representan aproximadamente el 74 % de los sólidos totales, lo que indica la prevalencia de compuestos inorgánicos.

La *alcalinidad* es un parámetro importante porque se encuentra relacionado con la estabilidad del pH, su magnitud depende de la concentración en las aguas de iones carbonato e hidrogenocarbonato, lo que se conoce como reserva alcalina o sistema tampón /21/. En las muestras analizadas prevalece la especie HCO_3^- , ya que presentan valores de pH inferiores a 8,3. Las concentraciones obtenidas oscilan entre 314 y 416 mg/L, como se observa en la figura 2.

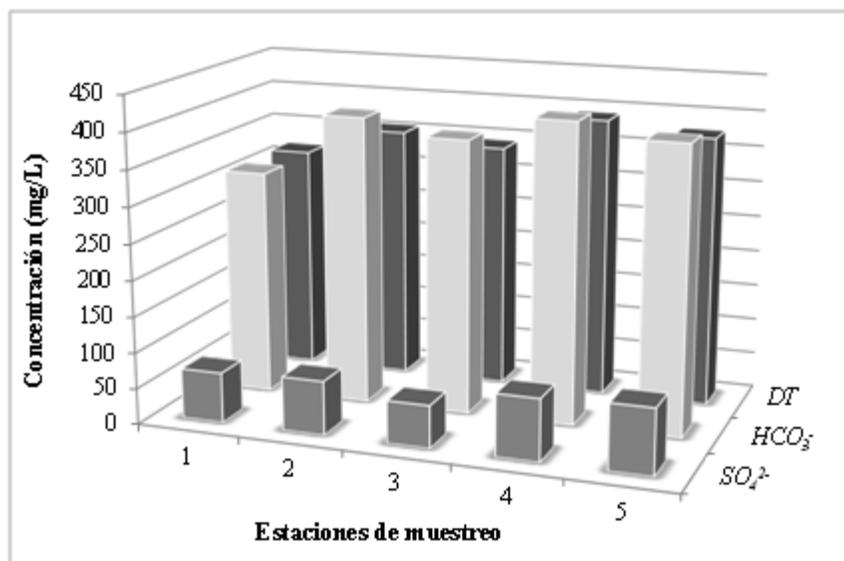


Fig. 2 Comportamiento de la concentración de la dureza total (DT), hidrogenocarbonato (HCO_3^-) y sulfatos (SO_4^{2-}) a lo largo del río Los Guaos

De manera general, según Allende (1976) /22/, estas aguas se clasifican de alcalinidad muy fuerte y muy contaminadas. Este indicador correlacionó positivamente con la λ ($r^2 = 0,789$) y la T ($r^2 = 0,762$), e inversamente con el pH ($r^2 = -0,786$).

Los valores de *dureza total* a lo largo del río varían entre 316 y 391 mg/L (figura 2), por lo que se encuentran dentro de la CMA establecida por la NC de agua potable /5/ (400 mg/L). Teniendo en cuenta los elevados valores de alcalinidad expresados como HCO_3^- se infiere que la dureza total en todas las estaciones es mayormente bicarbonatada, por lo que se clasifican como aguas con dureza temporal y no sulfatadas /19/. Existen diferencias estadísticas significativas entre la estación 1 y las estaciones 2,

4 y 5, y de la estación 3 con respecto a la 4 y la 5. Este parámetro correlacionó con el Na^+ ($r^2 = 0,761$), el K^+ ($r^2 = 0,761$) y los ST ($r^2 = 0,690$).

La presencia de *oxígeno disuelto* en las aguas es esencial para evaluar los efectos potenciales de algunos agentes contaminantes, así como para sustentar las formas superiores de vida. Las aguas de la estación 1 poseen concentraciones de 6,4 mg/L para un porcentaje de saturación de 74 %, valores que se encuentran por encima de 5 mg/L y 63 % de saturación, recomendados para que la vida acuática aerobia se desarrolle normalmente /23/, por lo que cumplen con los índices obligatorios para cuerpos de agua dulce de uso pesquero /18/ y con lo establecido en la NC de abasto /6/.

Aunque en la estación 2 el porcentaje de saturación de O₂ disminuye ligeramente a 69 %, la concentración de OD se encuentra dentro de la CMA establecida por las NC (figura 3). Estos resultados se deben a que los residuales del Genético

Porcino son tratados biológicamente mediante lagunas de estabilización antes de ser vertidos al río, lo que permite que la carga orgánica del residual disminuya respecto a estudios realizados anteriormente /20/.

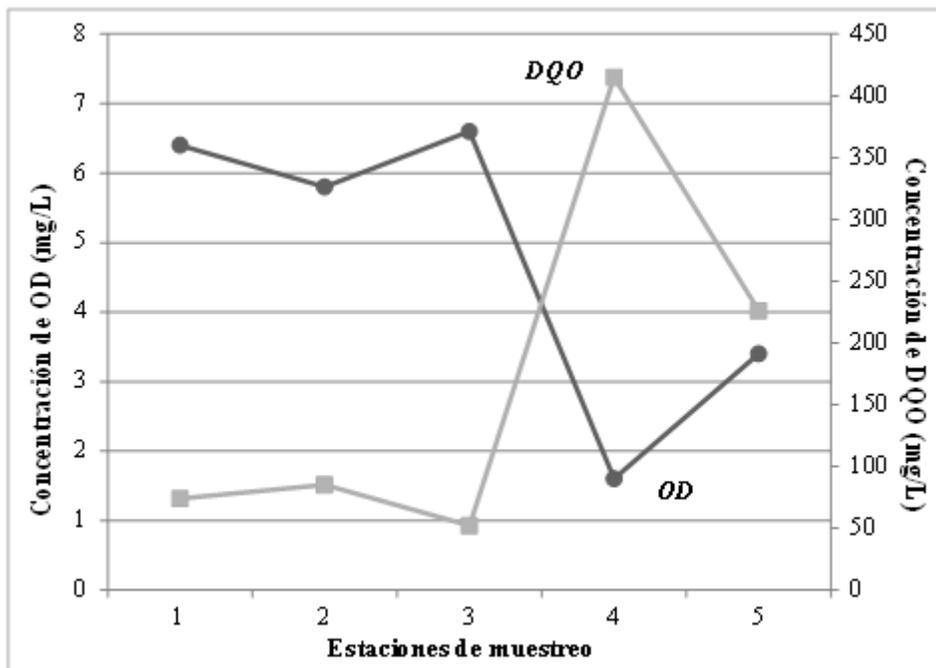


Fig. 3 Comportamiento de la demanda química de oxígeno (DQO) y de oxígeno disuelto (OD) en las diferentes estaciones de muestreo

Aunque en la estación 3 este parámetro disminuye ligeramente, aún se encuentra dentro de los requerimientos establecidos por las normas. En cambio, en la estación 4 se alcanzan valores inferiores a 5 mg/L (19 % de saturación de O₂). Según los índices obligatorios establecidos en la NC para uso pesquero /18/ y la NC de abasto /6/, estas aguas se clasifican como aguas de mala calidad, lo que puede deberse a que se encuentran sometidas a una contaminación industrial continua, a la existencia de abundante vegetación acuática que cubre una gran extensión de la superficie del agua y a que el intercambio agua-sedimento puede conducir a un descenso de los niveles de OD /24, 25/.

En la estación 5 los valores aumentan por la confluencia con el río Gascón, sin embargo se encuentran aún por debajo de la CMA establecida

en las NC 93-01-105 (1987) y NC 93-11 (1986). De manera general, por la evaluación de este parámetro, las aguas a lo largo del río se clasifican de calidad entre mala y dudosa.

Los valores de DQO oscilan entre 52 y 415 mg/L, como puede observarse en la figura 3. Todas las muestras analizadas se clasifican de mala calidad, excepto las de la estación 3 que poseen calidad dudosa, según lo establecido en la NC para uso pesquero /18/, ello indica que estas aguas poseen un alto contenido de materia orgánica susceptible a oxidarse. Al comparar los valores con la NC de agua para baño /8/, el valor de este parámetro se encuentra por encima de la CMA en todas las estaciones de monitoreo, por lo que se consideran inadecuadas para dicho uso. El OD y la DQO poseen una fuerte correlación inversa ($r^2 = -0,981$).

Las concentraciones de potasio obtenidas a lo largo del río oscilan entre 3 y 16 mg/L (tabla 1), valores superiores a la CMA para aguas de diversos usos, según normativas internacionales (1 mg/L) /23/. Los mayores valores se localizan en la estación 2. Dicho incremento puede deberse a que este punto está situado luego de que el río recibe el vertido de los residuales del Genético Porcino, cuya composición varía en dependencia de la dieta animal, por lo general, a base de piensos a los cuales se les adiciona un suplemento dietético compuesto por un núcleo orgánico (vitaminas) y un núcleo mineral conformado por sales de los elementos minerales esenciales NO_3^- , K^+ y PO_4^{3-} , entre otros /2/. Existen diferencias significativas entre las estaciones 1 y 2, así como entre la 3 y la 4, y de la 2 con respecto a la 3 y la 5.

La concentración de iones fosfato varía entre 0,02 y 3,2 mg/L (tabla 1). Las aguas de la estación 1 son de buena calidad, intervalo establecido por la NC de uso pesquero, menor de 0,1 mg/L /18/; el resto de las estaciones presentan calidad dudosa (intervalo de la norma para esta clasificación: 0,1-

3 mg/L); los mayores valores se obtienen en la estación 2, lo que concuerda con el aporte del residual que se vierte en este punto /2/. La estación 1, menos contaminada, difiere de manera significativa de las estaciones 2, 3 y 4, lo que corrobora los resultados planteados con anterioridad. La estación 2 difiere de la 1, 4 y 5, en este caso por ser la más contaminada.

Los iones amonio se producen por la descomposición de compuestos orgánicos de nitrógeno, fundamentalmente, como materia proteica, ocurriendo la amonificación /20, 26/. Este ion se encuentra presente a lo largo del río en concentraciones apreciables, por encima de 0,01 mg/L (figura 4). Teniendo en cuenta lo planteado por Perdomo y col. (2001) /27/, las aguas de este río presentan contaminación fecal en todo su recorrido. Ninguna de las estaciones cumple con lo establecido en la NC de agua potable. Dicho parámetro correlacionó positivamente con los ST ($r^2 = 0,756$), STF ($r^2 = 0,903$), STV ($r^2 = 0,597$) y N-NO_2^- ($r^2 = 0,609$), y correlación inversa con N-NO_3^- ($r^2 = -0,608$).

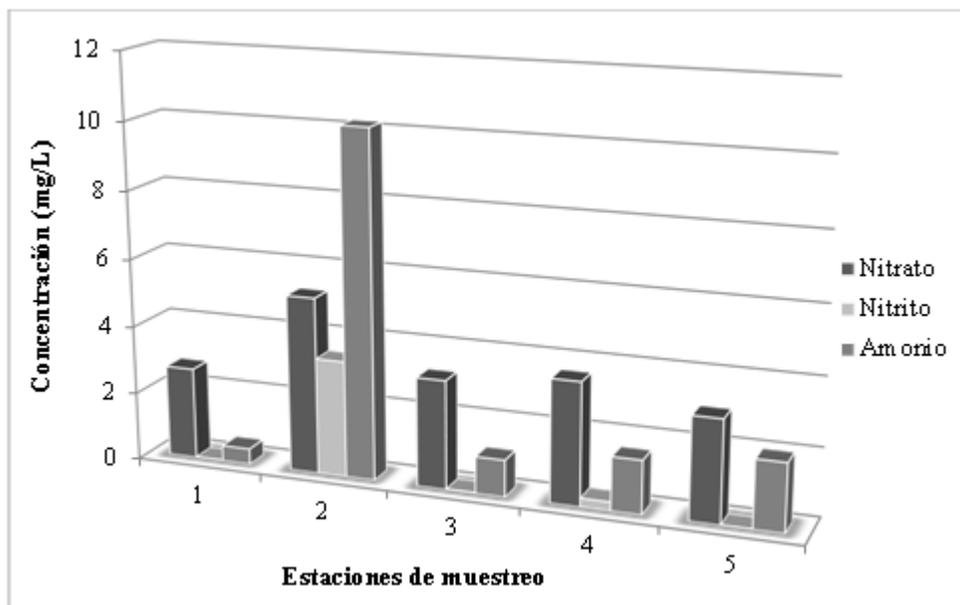


Fig. 4 Comportamiento del ciclo del nitrógeno (nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) y amonio (NH_4^+)) en las diferentes estaciones de muestreo

Los iones *nitrato* se encuentran en el intervalo de 1,1 a 9,5 mg/L; los mayores valores se presentan en las estaciones 2 y 4, lo que puede deberse al vertido de los residuales del Centro Genético Porcino y del Combinado Textil "Celia Sánchez Manduley". En todas las estaciones los valores de concentración de estos iones se encuentran por debajo de la CMA de 45 mg/L y 10 mg/L, según la NC de abasto /6/ y de uso pesquero /18/, respectivamente. Este parámetro correlaciona de forma inversa con el $N-NH_4^+$ ($r^2 = -0,608$), lo que permite inferir que el mismo proviene mayormente de la oxidación del amonio.

En todo el curso de agua los valores de concentración de iones *nitrito* se encuentran por encima de 0,01 mg/L, CMA establecida por la NC de agua potable /5/. Las estaciones 1, 3 y 5 presentan las concentraciones más bajas (inferiores a 0,2 mg/L) (figura 4). Según la NC de uso pesquero /18/, estas aguas se clasifican como de buena calidad para la pesca, excepto las estaciones 2 y 4 que son de calidad dudosa. Lo planteado anteriormente se verifica en el

test de Kruskal Wallis, donde la estación 1 difiere significativamente de las estaciones 2, 4 y 5; y la estación 3 de las estaciones 2 y 4. Existe correlación positiva con el K^+ y los ST. Como se observa en la figura 4, predomina la contaminación por iones nitrato, excepto en la estación 2, lo que indica contaminación albañal no reciente.

El comportamiento de las *trazas metálicas* en sistemas acuáticos es muy complejo debido al gran número de posibles interacciones y a los equilibrios con sustancias disueltas y particuladas /16/. En este trabajo se determinaron los metales Co, Cu, Cr, Sr, Fe, Mn, Pb, Zn, Al, Cd, Ba, Mo y Ni (tabla 2). Las concentraciones de los metales Co, Cu, Cr, Sr, Fe, Mn, Pb y Zn se encuentran por debajo de la CMA, según lo establecido en la NC de agua potable /5/. El resto de los metales estudiados se encuentran por encima de la CMA; esto puede deberse a la mineralización que presenta la cuenca del río como consecuencia de las características geoquímicas de las formaciones geológicas Cobre y Santiago /20/.

TABLA 2 VALORES MEDIOS OBTENIDOS EN LAS DIFERENTES ESTACIONES DE MONITOREO PARA LOS METALES

Metales	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4	Estación 5
Al	0,227±0,018	0,213±0,017	0,337±0,016	0,320±0,016	0,243±0,018
Ba	0,037±0,005	0,057±0,004	0,033±0,005	0,030±0,005	0,040±0,004
Cd	0,057±0,001	0,050±0,001	0,050±0,001	0,050±0,001	0,050±0,001
Co	0,050±0,002	0,045±0,002	0,045±0,002	0,044±0,002	0,044±0,002
Cu	0,163±0,016	0,103±0,015	0,070±0,012	0,077±0,012	0,070±0,012
Cr	0,043±0,002	0,043±0,002	0,040±0,002	0,037±0,001	0,040±0,002
Sr	0,127±0,015	0,140±0,017	0,163±0,017	0,207±0,016	0,203±0,017
Fe	0,160±0,035	0,063±0,032	0,210±0,035	0,217±0,035	0,133±0,032
Mn	0,007±0,008	0,063±0,008	0,003±0,005	0,003±0,001	0,017±0,005
Mo	0,067±0,005	0,060±0,005	0,060±0,005	0,060±0,005	0,060±0,005
Ni	0,050±0,005	0,043±0,004	0,040±0,004	0,043±0,005	0,040±0,005
Pb	0,050±0,003	0,050±0,003	0,050±0,003	0,050±0,003	0,047±0,002
Zn	0,053±0,002	0,077±0,004	0,040±0,002	0,043±0,003	0,040±0,003

Los *parámetros microbiológicos* muestran que todas las estaciones de monitoreo presentan valores por encima de 200 NMP/100 mL, valor requerido por la NC de aguas para baño /8/, por lo que estas aguas

no son consideradas aptas para el contacto directo, ni pueden ser usadas como agua potable /5/. Las aguas de la estación 1 pueden utilizarse para la pesca /18/ y para el abasto de la población /6/.

Nivel de eutrofia en las aguas del río Los Guaos

El abastecimiento excesivo de los nutrientes nitrógeno y fósforo a los cuerpos de agua provoca afectación en el equilibrio biológico entre la fauna y flora, lo que da lugar a la desaparición de algunas especies, mientras otras se desarrollan de manera excesiva. Este fenómeno se conoce con el nombre de eutrofización /16, 28-30/. Para determinar el nivel de eutrofia de un cuerpo hídrico es necesario conocer el nutriente límite, para ello se calcula la relación existente entre el N/P_i en todas las muestras analizadas. Una vez confirmado que el fósforo es el limitante y considerando el criterio de la OECD (1982) se clasifican las aguas teniendo en cuenta la concentración de fósforo total en $\mu\text{g/L}$ /31/.

Los resultados indican que existe un elevado nivel de eutrofización en el río debido a la entrada de grandes cargas de materia orgánica y de nutrientes de origen terrestre a través de aguas residuales sin tratar adecuadamente. Las aguas de este río se clasifican, en la estación 1, como aguas mesotróficas

(valores comprendidos entre 10-30 $\mu\text{g/L}$) y las de la estación 5 como aguas eutróficas (35-100 $\mu\text{g/L}$). En las estaciones 2, 3 y 4 el grado trófico presenta valores superiores a 100 $\mu\text{g/L}$, por lo que estas aguas se clasifican como hipertróficas.

Variación temporal de los indicadores físicoquímicos y microbiológicos entre 1998 y 2011

Para el análisis de las variaciones temporales se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos y los datos históricos que se poseen sobre la evaluación de la calidad de las aguas de este río /20/. Los indicadores fueron comparados empleando la prueba de hipótesis de comparación de medias (prueba U de Mann-Whitney) con un nivel de significación de $p \leq 0,05$. Las variaciones que se producen en los valores de cada parámetro no son estadísticamente significativas. Se aprecia que los valores mínimos y máximos obtenidos en el 2011 se encuentran dentro del intervalo de concentraciones alcanzadas por Pérez y col. (1999) /20/, como se muestra en la tabla 3.

TABLA 3. VALORES OBTENIDOS DE ALGUNOS DE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS EN LOS AÑOS 1997 Y 2011

Parámetro	Unidad de medida	Año 1997	Año 2011
Temperatura	(°C)	23-24	22-25
pH	Unidades	6,9-8,4	6,2-7,6
Conductividad	(mg/L)	729-1 470	498-1 072
DQO	(mg/L)	12-1 455	15-600
OD	(mg/L)	0-6,3	0,4-7,5
Alcalinidad	(mg/L)	296-995	196-514
SO ₄ ²⁻	(mg/L)	34-140	31-111
Ca ²⁺	(mg/L)	60-91	68-98
Mg ²⁺	(mg/L)	19-42	19-49
Na ⁺	(mg/L)	44-75	33-81
K ⁺	(mg/L)	1-43	2,3-22
Cl ⁻	(mg/L)	31-59	127-345
NO ₃ ⁻	(mg/L)	0,8-46	1,1-9,5
NO ₂ ⁻	(mg/L)	0,01-2,1	0,01-5,2
NH ₄ ⁺	(mg/L)	0,02-91	0,09-16
PO ₄ ³⁻	(mg/L)	0,8-398	0,02-3,2
Coliformes totales	NMP/100mL	2 900-10 ⁶	240-10 ⁵
Coliformes fecales	NMP/100mL	0-10 ⁶	9-10 ⁵

Aunque la estación 2 se encuentra altamente contaminada en ambos años, en la misma se observa una ligera mejoría luego de que se estableciese el sistema de lagunas de estabilización en el Centro Genético Porcino, lo que se evidencia en valores más bajos de DQO, nitrato, fosfato y aumento del oxígeno disuelto, aunque este tratamiento no resulta aún lo suficientemente efectivo. En la estación 4, por el contrario, los parámetros DQO y amonio aumentan, y disminuye el OD. Estos resultados indican que, aunque han existido algunas variaciones en las concentraciones de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos, el río mantiene el mismo nivel de contaminación que hace trece años.



Conclusiones

- **La caracterización físicoquímica y microbiológica realizada a las aguas del río Los Guaos evidencia que las mismas se encuentran contaminadas. De las cinco estaciones evaluadas, las estaciones 2 y 4 se encuentran afectadas en mayor grado. Estas aguas no son aptas para el uso pesquero, ni pueden ser utilizadas como agua potable (excepto en la estación 1). Para ser destinadas como abasto a la población resulta necesario realizar un tratamiento especial.**

- **Todas las estaciones se consideran afectadas por el fenómeno de eutrofización, que resulta más significativo en las estaciones 2, 3 y 4 (hipertróficas); el fósforo total se tiene en cuenta como nutriente limitante.**

- **No existen diferencias estadísticamente significativas en la variación temporal de los indicadores, por lo que las aguas del río Los Guaos se mantienen contaminadas desde hace trece años.**



Bibliografía

1. MANAHAN, S. *Introducción a la Química Ambiental*. España: Editorial Reverté, 2007.
2. ARIAS, T. "Caracterización de algunas de las principales fuentes contaminantes de la bahía de Santiago de Cuba y sus consecuencias en el Medio Ambiente". *Revista Tecnología Química*. 2008, VIII, 2, p. 79-89.
3. BOLAÑOS, J. "Estudio de la vulnerabilidad del río Los Guaos y su poder autodepurativo". En: *Segundo Seminario Internacional del Agua*. Santiago de Cuba, 2004.
4. CITMA. *Estrategia Ambiental de Santiago de Cuba (2007-2010)*. Santiago de Cuba: Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Delegación Provincial, 2008.
5. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. *Higiene comunal. Agua potable. Requisitos sanitarios y muestreo*. NC 93-02. 1985.
6. _____. *Higiene comunal. Fuentes de abastecimiento de agua. Calidad y protección sanitaria*. NC 93-11. 1986.
7. _____. *Evaluación de objetos hídricos de uso pesquero. Especificaciones*. NC 25. 1999.
8. _____. *Lugares de baño en costas y en masas de aguas interiores. Requisitos higiénico-sanitarios*. NC 22. 1999.
9. RODRÍGUEZ, N., et al. "Diagnóstico socioambiental de la Comunidad Cayo Granma". Informe inédito. Universidad de Oriente, 2004.
10. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. *Calidad del agua muestreo. Guía para el diseño de programas de muestreo. Parte 1*. NC ISO 5667-1. 1994.
11. _____. *Calidad del agua muestreo. Guía para la preservación y manipulación de muestras. Parte 3*. NC ISO 5667-3. 1994.
12. _____. *Calidad del agua muestreo. Parte 10*. NC ISO 5667-10. 1994.
13. GONZÁLEZ, A., et al. "Influencia del cierre de la Mina Grande en la calidad de las aguas del río Cobre de Santiago de Cuba". *Revista Cubana de Química*. 2009, XXI, 2, p. 37-44.
14. PÉREZ, N.; MARAÑÓN, A.; ÁBALOS, A. "Caracterización de las aguas residuales de la Refinería Hermanos Díaz". *Revista Cubana de Química*. 2004, XVI, 1, p. 53-60.
15. APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th Edition. USA: American Public Health Association, 1999.
16. MORENO, D.; QUINTERO, J.; LÓPEZ, A. "Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia". *Revista Contactos*. 2010, 78, p. 25-33.
17. PAULSON, D. S. *Applied Statistical Designs for the Research*. USA: Editorial Marcel Dekker Inc., 2003.
18. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. *Sistema de normas para la protección del medio ambiente. Hidrosfera. Especificaciones y procedimiento para la evaluación de los objetos hídricos de uso pesquero*. NC 93-01-105. 1987.
19. OROZCO, C., et al. *Contaminación Ambiental. Una visión desde la química*. Madrid: Pearson Educación, 2002.
20. PÉREZ, N., et al. "Evaluación de la calidad de las aguas del río Los Guaos de la provincia Santiago de Cuba, Cuba". *Revista Cubana de Química*. 1999, XI, 1, p. 56-61.
21. RIVERA, N. R.; ENCINA, F.; MUÑOZ PEDREROS, A.; MEJÍAS, P. "La calidad de las aguas en los ríos Cautín e Imperial, IX Región-Chile". *Información Tecnológica*. 2004, 15, 5, p. 89-101.
22. ALLENDE, A. V. *Apuntes sobre Química del Agua*. La Habana: ISPJAE, 1976.
23. SÁNCHEZ, L. E. *Control de la contaminación de las aguas*. Departamento de Ingeniería de Minas, Escuela Politécnica, Universidad de Sao Paulo, 1993.

24. MILÁN, J. A. *Estudio del Medio Ambiente. Programas Ambientales Urbano-Territoriales*. Nicaragua: Universidad Nacional de Ingeniería, 2004.
25. SPIRO, T. G.; STIGLIANI, W. M. *Química Medioambiental*. 2ª ed. Pearson Prentice Hall, 2003.
26. VITOUSEK, P. M., *et al.* "Human Alteration of the Global Nitrogen Cycle: Sources and Consequences". *Ecological Applications*. 1997, 7, p. 737-750.
27. PERDOMO, C. H.; CASANOVA, O. N.; CIGANDA, V. S. "Contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes fecales en el litoral sudeste del Uruguay". *Revista Agrociencia*. 2001, 1, p. 10-22.
28. ARCE, O. *Eutrofización de cuerpos de agua. Química del agua* [en línea]. [ref. de 22 de noviembre de 2011]. Disponible en Web: <<http://www.fcyt.umss.edu.bo/Eutrofizacion.pdf>>.
29. ROMERO, M. "Proceso de eutrofización de afluentes y su prevención por medio de tratamiento de afluentes". *Revista Ingeniería Primero*. 2010, 17, p. 64-74.
30. QUIRÓS, R. "The Relationship Between Nitrate and Ammonia Concentrations in the Pelagic Zones of Lakes". *Revista Limnetica*. 2003, 22, p. 37-50.
31. Betancourt, C.; Suárez, R.; Toledo, L. "Ciclo anual del nitrógeno y el fósforo en el embalse Paso Bonito, Cienfuegos, Cuba". *Revista Limnetica*. 2009, 28, p. 79-90.