

Evaluación hidroquímica de las aguas del río Cayo Guam, Moa, Cuba

Hydrochemical evaluation of the waters of the Cayo Guam River, Moa, Cuba

Moraima Fernández-Rodríguez¹, Bicara Nfundiko Christian¹, Rafael Guardado-Lacaba¹, Yuri Almaguer Carmenate²

¹Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín, Cuba.
mfernandez@ismm.edu.cu

² Universidad Autónoma de Coahuila, México. yalmaguer97@gmail.com

Resumen

La cuenca hidrográfica del río Cayo Guam es afectada por la actividad antrópica. Se realizó un estudio para evaluar, desde el punto de vista hidroquímico, la calidad de las aguas del río. A todo lo largo del cauce del río, en puntos anteriores a las fuentes contaminantes y posteriores a estas, se tomaron trece muestras en total. Los valores de las determinaciones químicas, físicas y bacteriológicas de las muestras se contrastaron con las normas cubanas vigentes para el control de las aguas terrestres. Se pudo establecer que la principal fuente de contaminación de las aguas es la exploración y explotación de distintos yacimientos (lateríticos, de cromitas, de áridos) en el cauce del río. Desde el punto de vista físico, las aguas resultaron ser débilmente básicas, hidrocarbonadas-magnésicas del tipo I y por su dureza, aguas blandas con muy bajos contenidos de calcio debido a la litología de la zona; su coloración está por encima de lo permisible en algunos puntos de muestreo. Se detectó asimismo la presencia de nitritos que evidencian contaminación por albañales cercanos; revelándose, además, contaminación bacteriológica en el punto de mayor concentración de nitritos. Aunque los valores de contaminación no son alarmantes, algunos elementos están por encima de las normas.

Palabras clave: hidroquímica; calidad del agua; río Cayo Guam; nitritos; contaminación antrópica.

Abstract

The watershed of the Cayo Guam River is affected by the anthropogenic activity. The purpose of this study is to evaluate the quality of waters of the river from Hydrochemical point of view. It has been taken 13 samples in total around the river bed and in different points subsequent and previous to the polluted sources. To control terrestrial waters, the values of bacteriological, physical and chemical determinations were verified taking into consideration the regulations in force. It was concluded that the main source of water pollution is the exploration and exploitation of different deposits (lateritic, chromite, aggregate) on the riverbed. From the physical point of view, the waters turned out to be weakly basic, hydrocarbon-magnesium type I and soft waters because of its hardness and low calcium contents due to the lithology of the area; its coloration exceeds what is permissible in some sampling points. The presence of nitrites that show contamination by nearby sewers was also detected; showing bacteriological contamination at the point of higher concentration of nitrites. Although the pollution values are not alarming, some elements are above the norms.

Keywords: hydrochemical; water quality; Cayo Guam River; nitrites; anthropic contamination.

1. INTRODUCCIÓN

La cuenca hidrográfica del río Cayo Guam es una de las reservas de agua superficial más importantes de Cuba. Se localiza en las cercanías del parque Alejandro de Humboldt, declarado por la UNESCO patrimonio nacional.

En la cuenca se desarrollan intensos procesos erosivos, representados por erosión en cárcavas y deslizamientos de laderas. Actualmente la acción antrópica influye negativamente al intensificar los procesos de degradación por la explotación de cantos rodados, de yacimientos lateríticos y de cromitas en el cauce del río.

Las zonas afectadas representan el 15 % del área total de la cuenca con posibles incidencias en la calidad natural del agua (García 2013). Esto, unido a un acelerado desarrollo de la industria del níquel y al aumento demográfico, trae aparejado un crecimiento de los asentamientos poblacionales y, con ello, el vertimiento descontrolado de residuales domésticos de diferentes naturaleza, la tala indiscriminada de los bosques, la aparición de áreas desprovistas de vegetación y, fundamentalmente, el vertimiento de residuales sólidos, líquidos y gaseosos de los procesos metalúrgicos y la actividad minera.

Lo antes descrito hace evidente la necesidad de una evaluación hidroquímica de las aguas del río Cayo Guam a fin de sustentar científicamente el diseño de estrategias que orienten la toma de decisiones y la planificación e implementación de acciones que reduzcan la contaminación.

El área de estudio se enmarca en la zona central del municipio de Moa, el cual se ubica hacia el noreste de la provincia de Holguín en Cuba (Figura 1).

La cuenca del río se sitúa en una zona litoral con predominio de las condiciones tropicales marítimas costeras. El clima es subtropical húmedo y la humedad relativa de 84 %; la temperatura media anual del aire es aproximadamente de 25 °C (Fernández 2013; De Miguel 2008). Son abundantes las precipitaciones atmosféricas, de las cuales una parte se evapora y la otra ingresa al escurrimiento superficial y a la alimentación del manto acuífero.

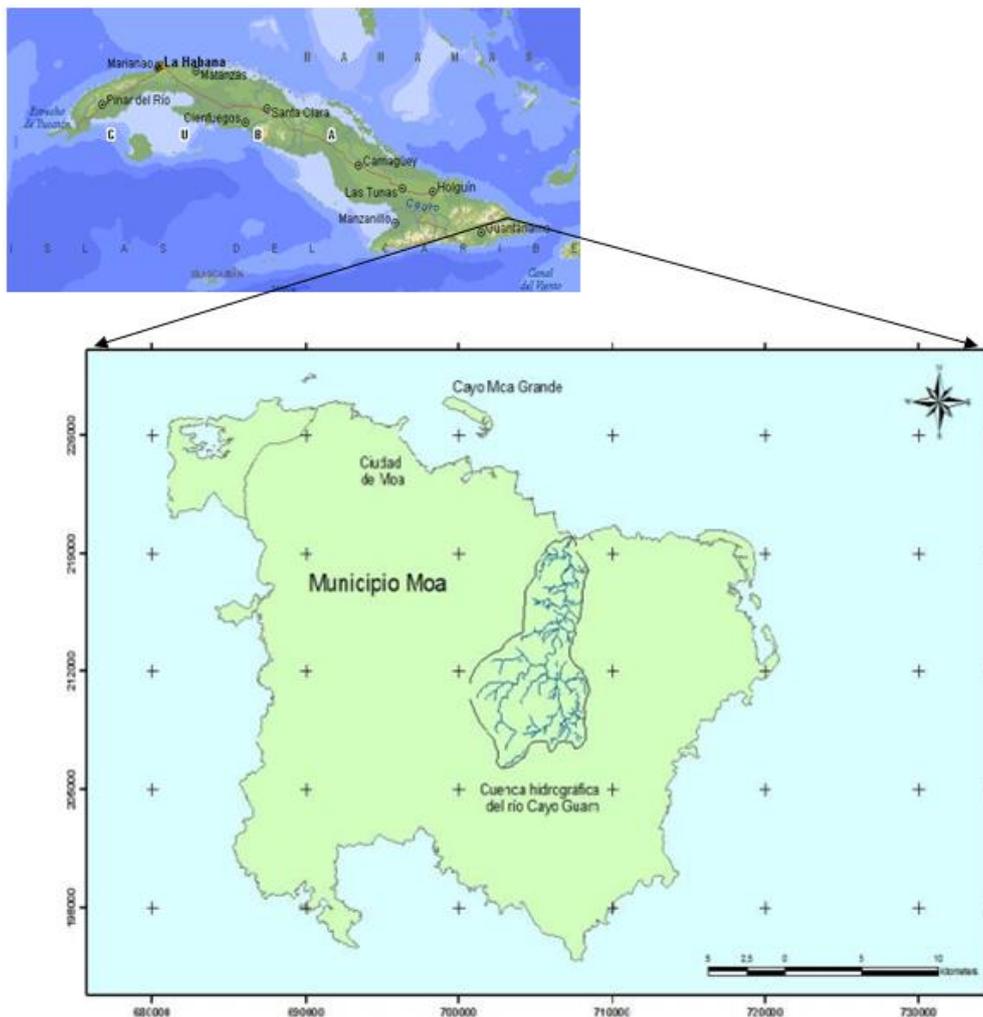


Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca Cayo Guam en Cuba. Escala 1:50000.

Son predominantes los procesos de intemperismo, condicionados no solo por la litología y el grado de agrietamiento de las rocas sobre las cuales se desarrolla, sino también, por la posición hipsométrica que estas ocupan. Actualmente se ha intensificado el arrastre de suelos por las actividades exploratorias y extractivas de los yacimientos lateríticos y el desarrollo de deslizamientos de forma natural (Figura 2).

El sistema montañoso Moa-Baracoa en el cual se enclava el municipio Moa representa la zona de mayor biodiversidad del país, con un 68 % de especies autóctonas (García 2013). El área sur del municipio queda englobada dentro de una reserva de la biosfera declarada por la UNESCO en el año 1998. La vegetación es variada, encontrando formaciones vegetales tales como: pinares, bosque en galería, arbustivo xeromorfo subespinoso (charrascal) y vegetación secundaria.

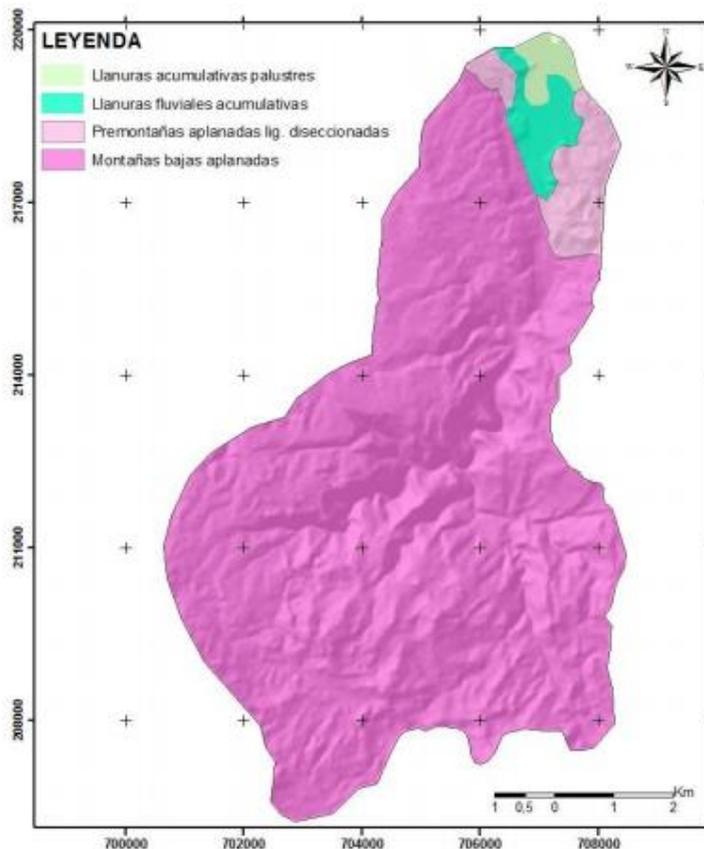


Figura 2. Mapa geomorfológico de la cuenca hidrográfica del río Cayo Guam. Escala 1:50000 (Tomado de: García 2013).

1.1. Características geológicas de la cuenca del río Cayo Guam

La cuenca del río Cayo Guam se caracteriza por la presencia de dos grupos litológicos fundamentales: las rocas del complejo ofiolítico y los sedimentos cuaternarios.

Complejo de rocas ultrabásicas: Aflora en toda la porción central y meridional del área. Está constituido predominantemente por harzburgitas y, subordinadamente, dunitas, lherzolitas y piroxenitas; ocupa el 89,47 % de la cuenca. Las rocas de este complejo son de un característico color verde oscuro o gris verdoso, con un grado de serpentinización variable y un gran agrietamiento.

Los complejos máficos: están representados por gabros olivínicos, gabro-noritas, anortositas y gabros normales de diferentes granulometrías; ocupan el 7,28 % del área total de la cuenca. Los cuerpos de gabro tienen una estructura de grandes bloques que, en su mayoría, se disponen en las zonas periféricas del complejo ultramáfico (Rodríguez 1998; García 2013).

Entre las principales fuentes de contaminación (Figura 3) que afectan las aguas del río Cayo Guam se identificaron las siguientes:

- La actividad minera que arrastra sólidos en suspensión y altera algunas de las propiedades físicas y químicas de las aguas como el color, turbidez, sólidos totales disueltos, material sedimentable y algunos elementos que son disueltos por la propiedad de disolvente que tiene la misma.
- Los sistemas de tratamiento de residuales de aguas albañales y domésticas que alteran la calidad del agua, desde el punto de vista bacteriológico, con la presencia de coliformes totales en un área determinada.
- Los desechos sólidos vertidos por la actividad de campismo popular que pueden afectar la calidad del agua, provocando enfermedades a los individuos y otros desechos como las chatarras de hierro a lo largo del río.
- La extracción de grava, sin tener en cuenta las afectaciones de la cuenca y el molino de piedra, contaminan la atmósfera y las aguas superficiales.
- Los procesos de erosión de los suelos, los deslizamientos y el escurrimiento superficial que arrastran gran cantidad de sólidos al río.
- Pérdida de la vegetación natural.

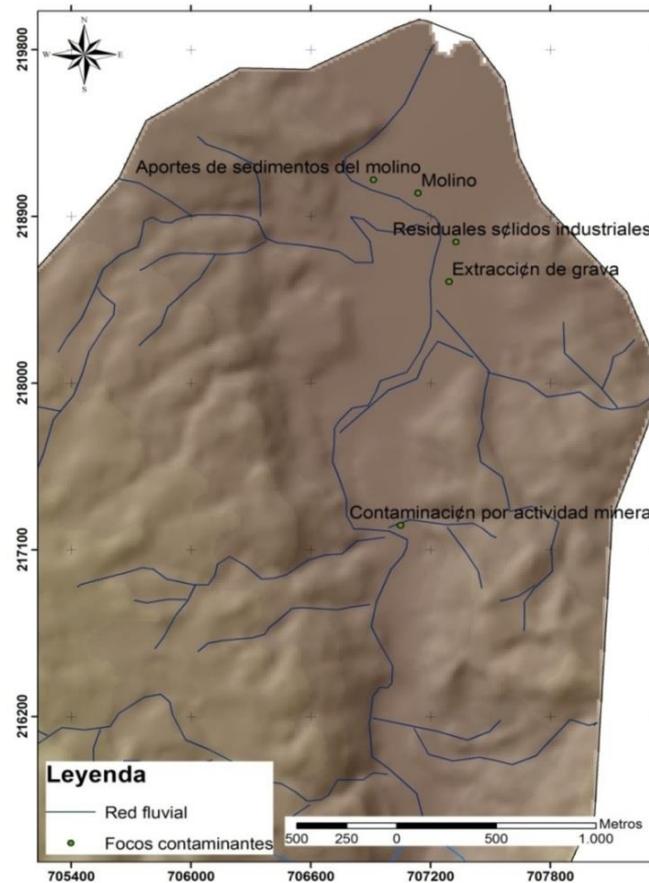


Figura 3. Mapa de ubicación de focos contaminantes. Escala 1:50000.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Puntos de muestreo

Los puntos de muestreo deben ser seleccionados de manera tal que las muestras sean representativas del sistema en su conjunto y de sus principales componentes (Mora, Mata y Portuguez 2011).

La Figura 4 ilustra la ubicación de los puntos de muestreo. Se tomó una muestra de agua en puntos considerados como alterados por los vertidos y en algunos afluentes.

2.2. Toma de muestras

Uno de los requerimientos básicos en el programa de muestreo es una manipulación ausente de procesos de deterioro o de contaminación de las muestras antes de iniciar los análisis en el laboratorio (APHA 1995).

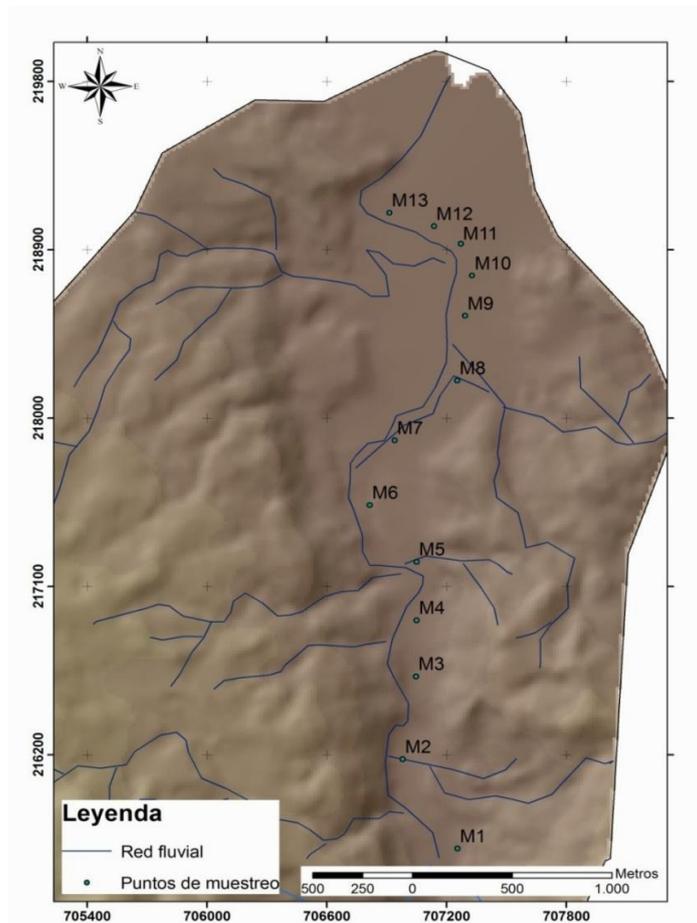


Figura 4. Ubicación de los puntos de muestreo. Escala 1:50000.

Se tomó un total de 13 muestras a lo largo del río, en puntos ubicados antes de la fuente de contaminación y después de esta, con el objetivo de conocer el comportamiento de las concentraciones de los compuestos que intervienen en los procesos físico-químicos que influyen en la migración de los contaminantes disueltos en el agua.

2.3. Técnicas analíticas

Las muestras fueron estudiadas en el laboratorio de análisis físico- químico y microbiológico de agua de la planta potabilizadora de la empresa Ernesto Che Guevara y en el laboratorio químico del Centro de Investigaciones del Níquel (CEDINIQ), considerando los indicadores y procedimientos exigidos por las normas cubanas 827:2012 para el agua potable, NC 27-1999 para la protección de los embalses, y los criterios de la OMS sobre vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres. Los resultados obtenidos fueron comparados con los valores del límite máximo aceptable (LMA) y el límite máximo permisible (LMP) de las referidas normativas.

El procesamiento de la información hidroquímica se realizó con ayuda de diferentes herramientas del Office 2007 (Excel, Access) y el programa

Surfer v9.exe, garantizando que el gran volumen de datos obtenidos fuera técnicamente procesado y corregido para la obtención de los mapas hidroquímicos.

Se evaluaron las siguientes propiedades del agua: pH, turbidez, conductividad, sólidos totales disueltos, salinidad, color, contenido de materia orgánica, NO_2^- , SiO_2 , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , dureza total (mg/L de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$), dureza cálcica (mg/L de CaCO_3), dureza magnésica (mg/L de Mg^{2+}), Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ y K^+ . El contenido de elementos pesados o trazas, tales como Ni, Co, Fe, CrTotal, Cr^{6+} , se obtuvo mediante espectrofotometría de absorción atómica.

Los análisis bacteriológicos realizados a cinco muestras representativas permitieron conocer el estado higiénico sanitario, atendiendo a la presencia de coliformes totales y coliformes fecales (NMP 100 mL).

2.4. Caracterización físico-química y bacteriológica de las aguas

Se documentaron de 13 puntos de muestreo. La definición básica de evaluación de la calidad del agua se describe como una variante al monitoreo para establecer la naturaleza y el grado de contaminación del agua. Esta evaluación es un proceso de disímiles enfoques, que tiene como objetivo caracterizar las aguas física, química y bacteriológicamente, con relación a la calidad natural, efectos humanos y otros usos de las aguas superficiales del río Cayo Guam.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados físico-químicos

Las tablas 1 muestra los valores de las propiedades físicas de las aguas del río Cayo Guam, mientras en las tablas 2a y 2b recogen los resultados de los análisis químicos.

Potencial de hidrógeno (pH) y DQO

El pH del agua representa su acidez o su alcalinidad, cuyo factor más importante es habitualmente la concentración de ácidos o bases debido a la mineralización total. Los valores de pH oscilaron entre 7,49 y 8,16, clasificándose como aguas débilmente básicas. El pH es deseable de 7 a 8 unidades y máximo admisible de 6,5 a 8,5, según NC 827:2012.

Tabla 1. Propiedades físicas de las aguas

Muestras	STD	pH	Turbidez (NTU)	Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Salinidad (%)	Color (Esc/Pt-Co)
M1	56	8,26	1	124	0	2
M2	30	7,55	1	6	0	3
M3	36	7,78	2	81	0	23
M4	46	7,84	1	102	0	1
M5	39	7,82	2	86	0	23
M6	51	7,93	1	114	0	8
M7	44	7,89	1	98	0	9
M8	44	7,82	1	98	0	11
M9	39	7,81	2	88	0	30
M10	44	7,49	1	98	0	11
M11	33	7,73	1	73	0	10
M12	40	7,89	2	89	0	29
M13	39	7,73	2	87	0	24

Tabla 2a. Concentración de las especies, mg/L

Muestra	Ca ²⁺ (200)	Mg ²⁺ (150)	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₂ ⁻ (0,01)	Cl ⁻ (250)	SO ₄ ²⁺ (400)	DTotal mg-equiv/L (400)
M1	4	21,14	60	2	0,0041	10,18	7,13	1,93
M2	2,1	10,69	40	0	0,0041	2,55	6,246	1,07
M3	2,40	11,17	36	0	0,0044	7,13	7,71	2,40
M4	3,20	11,66	48	0	0,0041	9,67	5,94	3,20
M5	0,80	13,12	48	0	0,0041	7,63	7,13	0,80
M6	1,60	14,58	36	0	0,0044	7,6	6,69	1,60
M7	4,40	14,09	48	0	0,0041	7,64	7,42	2,40
M8	4,80	14,58	48	0	0,0041	7,64	7,42	4,80
M9	2,40	12,15	48	0	0,0046	7,64	6,98	2,40
M10	2,40	13,12	40	0	0,0041	7,64	6,69	2,40
M11	0,80	14,09	48	0	0,0098	6,11	7,58	0,80
M12	1,60	9,72	36	0	0,0052	7,64	8,002	1,60
M13	2,40	16,03	40	0	0,0042	7,63	7,42	2,40

Tabla 2b. Concentración de las especies, mg/L

Muestra	DQO	Na ⁺ (200)	K ⁺	Ni (0,02)	Cr ⁶⁺	Co	Fe Total (0,03)	Cr Total (0,03)
M1	0,7	28	3,3	0,01	0,009	0,0	0,10	0,016
M2	1,1	20	1,15	0,02	0,005	0,005	0,17	0,018
M3	3,0	21	1,4	0,02	0,011	0,004	0,172	0,012
M4	1,2	21	1,4	0,01	0,009	0,003	0,18	0,023
M5	3,6	22	1,42	0,02	0,012	0,002	0,183	0,019
M6	1,0	23	1,44	0,02	0,014	0,002	0,165	0,024
M7	1,6	23	1,44	0,03	0,012	0,001	0,16	0,027
M8	1,7	25	1,43	0,02	0,016	0,002	0,14	0,23
M9	3,6	25,8	1,48	0,02	0,018	0,001	0,151	0,32
M10	3,7	25,8	1,5	0,01	0,016	0,002	0,17	0,37
M11	3,2	26	1,49	0,02	0,030	0,003	0,175	0,033
M12	3,3	29	2,65	0,03	0,021	0,002	0,18	0,062
M13	3,0	27	2,55	0,03	0,007	0,002	0,19	0,043

La guía canadiense de la calidad del agua establece un rango de 6,5-9,0 de pH en aguas dulces destinadas a la preservación de la vida acuática (Dirección General de Salud Ambiental 2006). Aunque la norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 no establece un intervalo para el pH, se tomó en cuenta porque este parámetro indica la cantidad relativa de acidez en agua. Las aguas dulces tienen un pH entre 6,5 y 8,7.

Los resultados representados en la Figura 5 no exceden los límites permisibles de las normas cubanas ni las de algunos países latinoamericanos. La demanda química de oxígeno (DQO) se comporta en un rango de 0,7 y 3,7; este máximo valor corresponde a la muestra 10 afectada por los vertidos de aguas albañales en zonas cercanas. Los valores están dentro de las normas permisibles.

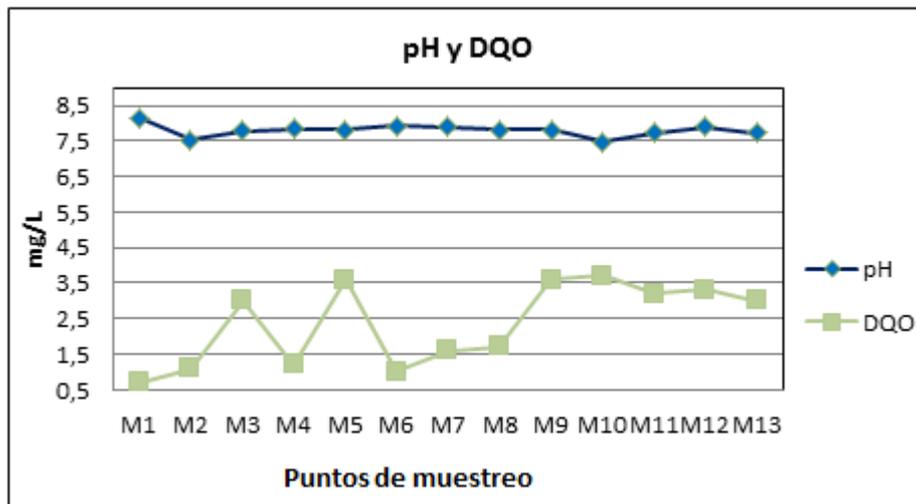


Figura 5. Comportamiento del pH DQO en los puntos de muestreo.

Color y turbidez

El color se encuentra en el rango desde 1 hasta 30 en la Esc-Pt/Co; el color de estas muestras está dado por los contenidos de sustancias minerales, como el Fe, y otras sales disueltas en el agua. Las muestras 3, 4, 9, 12 y 13 presentan valores de color por encima de las normas permisibles fuera de los valores deseables y admisibles (Figura 6).

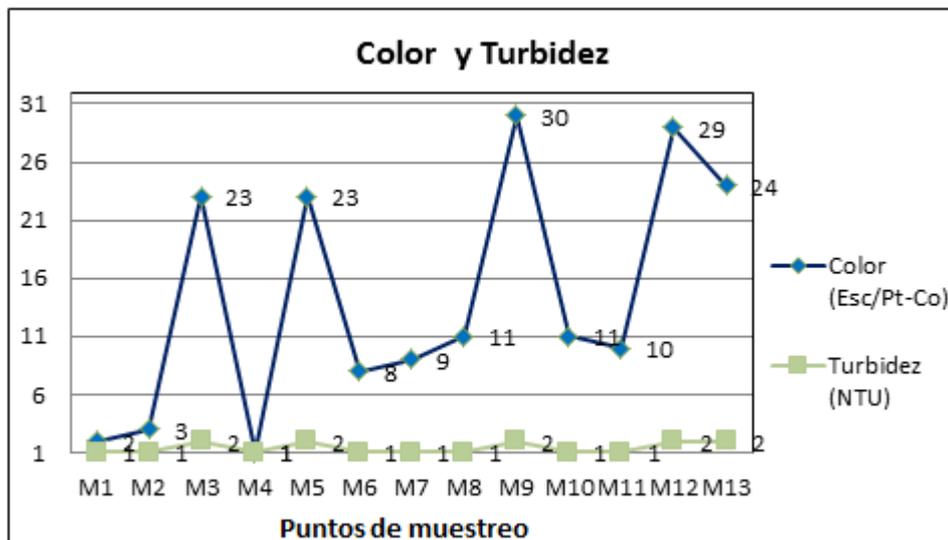


Figura 6. Comportamiento del color (Esc-Pt/Co) y la turbidez (NTU) en los puntos de muestreo.

Los valores de turbidez se encuentran en un intervalo desde 1-2 NTU; estas aguas son bastante claras porque los elementos que influyen en la turbidez son limitados. Sus valores están dentro de las normas permisibles.

Conductividad y sólidos totales disueltos (STD)

La conductividad expresa el carácter conductor de la electricidad en el agua como consecuencia de su contenido iónico, de su concentración y de la temperatura de medición; es una medida indirecta de la cantidad de iones en solución, fundamentalmente cloruro, nitrato, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y calcio (Goyenola 2007). En los cuerpos de agua dulce se encuentra primariamente determinada por la geología del área a través de la cual fluye el agua.

Los valores de conductividad en las aguas del río Cayo Guam están representados por 69 hasta 124 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Esto es debido a la mineralización en la composición de las aguas.

El parámetro de conductividad eléctrica es uno de los más usados debido a la rapidez de su medición y al ser una representación del total de los sólidos disueltos permite detectar variaciones en la composición química de los constituyentes del agua; de ahí su importancia en los seguimientos de controles de calidad para la toma de medidas correctivas y preventivas (Figura 7).

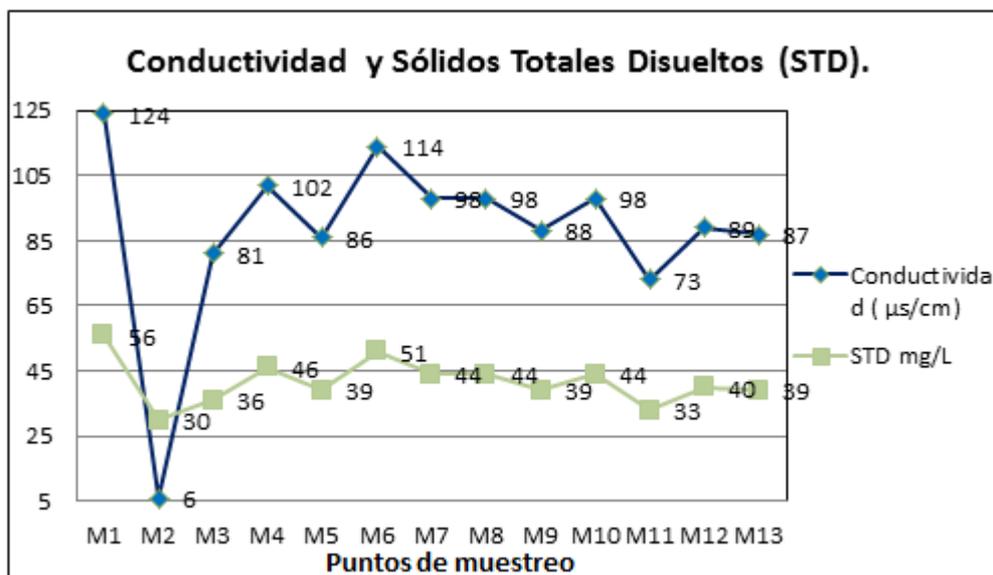


Figura 7. Comportamiento de la conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$) y de los sólidos disueltos totales (mg/L) en los puntos de muestreo.

El monitoreo de este parámetro indicador permite definir la necesidad de realizar otros análisis físico-químicos y con ello disminuir los costos de los mismos.

Considerando los STD, el agua natural tiene iones en disolución que son proporcionales a la cantidad de sustancias disueltas, conductividad y salinidad. Los valores de STD oscilan entre 30 y 56 mg/L. Se deben

controlar los valores de sólidos disueltos, ya que pueden aportar contenidos de algunos elementos mayoritarios y metales.

Calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+})

El calcio (Figura 8) se comporta bastante estable en todas las muestras, sin embargo, sus valores están entre 0,8 y 4,8 mg/L, por debajo de los límites deseados (70 mg/L), y con relación a los límites máximos admisibles 200 mg/L; este elemento es necesario para el buen desarrollo del organismo humano. Suele ser el catión principal en la mayoría de las aguas naturales debido a su amplia difusión en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.

El contenido de magnesio en las aguas está entre 9,72-21,14 mg/L (Figura 8); los mayores valores encontrados en las muestras están influenciados por el arrastre de este elemento, diluido en el agua, ubicándose todos los valores por debajo de la concentración máxima admisible (150 mg/L).

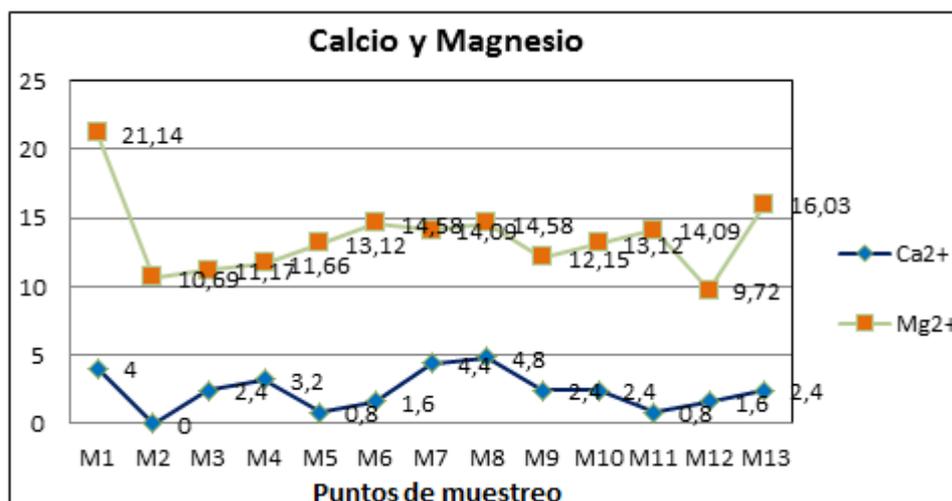


Figura 8. Comportamiento del calcio (Ca^{2+}) y del magnesio (Mg^{2+}) en los puntos de muestreo.

Sodio (Na^+) potasio (K^+)

El contenido de sodio se encuentra en valores entre 18 y 29 mg/L, dentro de los límites permisibles según normas cubanas y la OMS (Figura 9). Las concentraciones de potasio oscilan entre 1,15-3,33 mg/L. Las bajas concentraciones son debido a los procesos de intercambio al ser fijado por un material arcilloso en la corteza; este se encuentra por debajo de la concentración máxima admisible según las normas. Esta tendencia es concordante con la baja conductividad eléctrica y contenidos de los sólidos disueltos totales del agua.

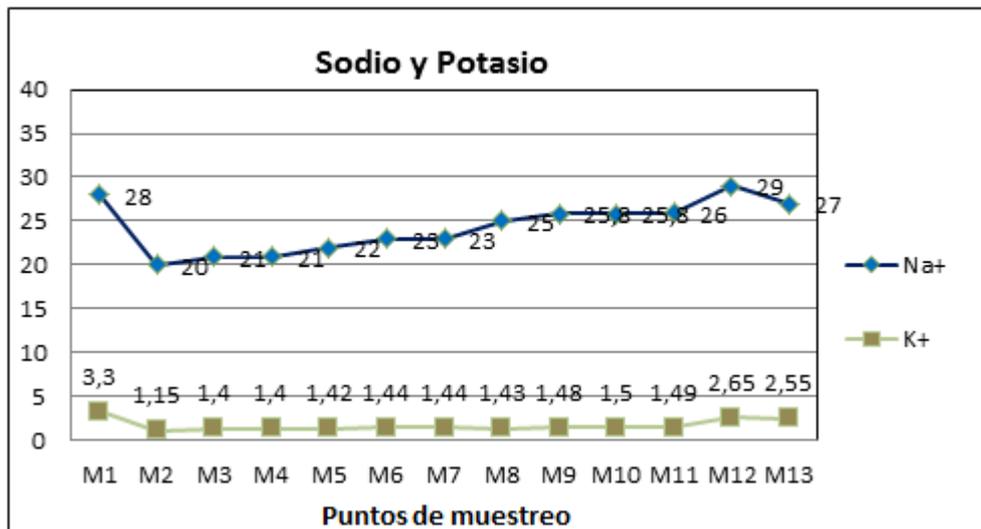


Figura 9. Comportamiento de sodio (Na^+) y del potasio (K^{2+}) en los puntos de muestreo.

Hidrocarbonatos (HCO_3^-) y carbonatos ($\text{CO}_3^{=}$)

En aguas con pH inferior a 8,2 predomina el ión bicarbonato. La existencia de los iones hidrocarbonatos en estas aguas está relacionado con el tipo de roca existente, representada en su mayor parte por calizas carcificadas y depósitos arcillo-arenosos, sus concentraciones se encuentran entre 36-60 mg/L.

El bicarbonato es la forma más común del carbono inorgánico que se encuentra entre el pH de 6 y 8,2 y se deriva parcialmente de la disolución de minerales carbonatados. Cuando en el río no hay rocas carbonatadas el contenido de HCO_3^- se origina parcialmente del dióxido de carbono (CO_2) en el suelo y de la respiración biológica (Chapman 1996; Zhen 2010).

La concentración de $\text{CO}_3^{=}$ es nula excepto en la muestra 1, la cual presenta un pH de 8,26 que favorece la presencia de este elemento aunque en muy baja concentración (Figura 10).

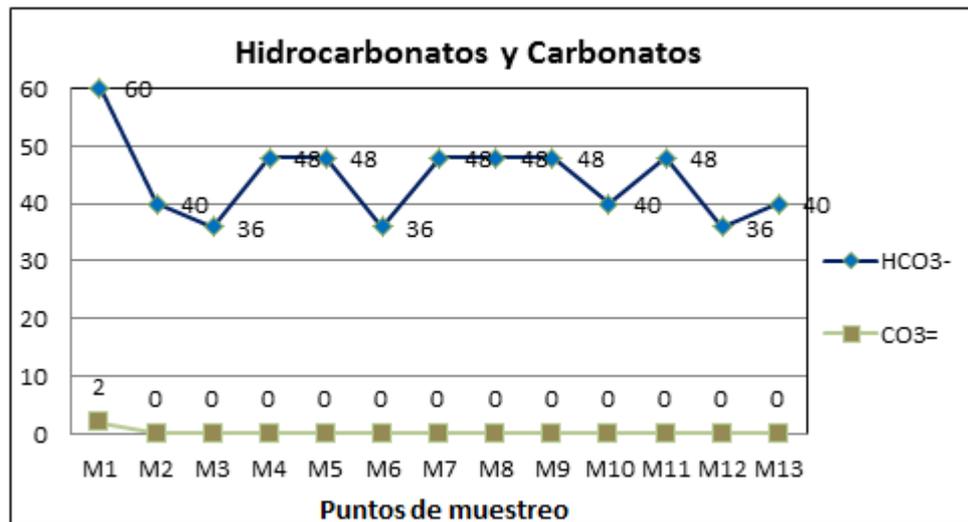


Figura 10. Comportamiento del hidrocarbonato (HCO₃⁻) y carbonatos (CO₃⁼) en los puntos de muestreo.

Hierro (Fe), níquel (Ni) y cobalto (Co)

El hierro se encuentra entre 0,10-0,19 mg/L. Los mayores valores se presentan en las muestras CA4, CA5 y en la parte baja de la cuenca, debido a las vías de acceso cercana (viales y puentes), al escurrimiento superficial, procesos de erosión de los suelos y a las litologías presentes (Figura 11).

Cuando este elemento entra en contacto con el oxígeno del aire se oxida, produciendo una coloración café rojizo, por lo que, al observarse el agua, parece turbia y visualmente inaceptable. Concentraciones elevadas de hierro pueden interferir en los procesos de lavado, ya que tiñen las tuberías y causan dificultades en los sistemas de distribución al permitir el crecimiento de bacterias del hierro. La concentración máxima permisible es 0,03 mg/L según NC 827:2012.

Los resultados de los análisis de níquel revelan una alteración en las concentraciones de algunas de las muestras con relación a los límites máximos admisibles (LMA 0,02 mg/L), según NC 827:2012, las concentraciones oscilan entre 0,01-0,03 mg/L. Estas concentraciones tienen un origen natural y se debe a la litología de la zona, además de la influencia de los procesos de erosión de los suelos y el escurrimiento superficial, la reducción creciente de las franjas boscosas protectoras de los ríos y sus afluentes; ellas ejercen un control de la erosión de las orillas de los ríos y del asolvamiento fluvial (Figura 11).

Los valores de cobalto se encuentran desde 0,001 hasta 0,003 mg/L, encontrándose por encima de las normas permisibles para aguas de consumo, debido fundamentalmente a la litología de la zona por la cual

circulan. En este elemento no hay un límite mínimo definido aunque se asume el mismo que el del Ni (Figura 11).

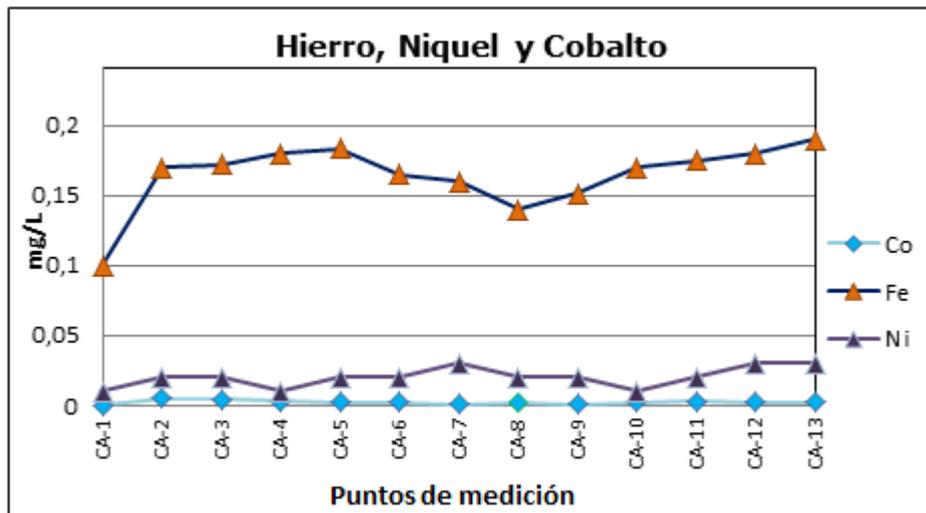


Figura 11. Comportamiento del hierro (Fe), níquel (Ni) y cobalto (Co) en los puntos de muestreo.

Nitritos (NO_2^-)

El agua del río Cayo Guam no representa un riesgo alto por contaminación de nitrito, ya que su concentración máxima está en 0,0098, mg/L de NO_2^- -N en la muestra 11, producto a la influencia de contaminación de una fuente no puntual de vertidos albañales cercanos al río, con elevadas concentraciones de materia orgánica. Las concentraciones de nitrito cercanas a los límites propuestos indicarán la posibilidad de contaminación orgánica, que sería comprobada por el análisis bacteriológico. Los valores de nitrito oscilan entre 0,0041-0,0098 mg/L en la zona de estudio (Figura 12).

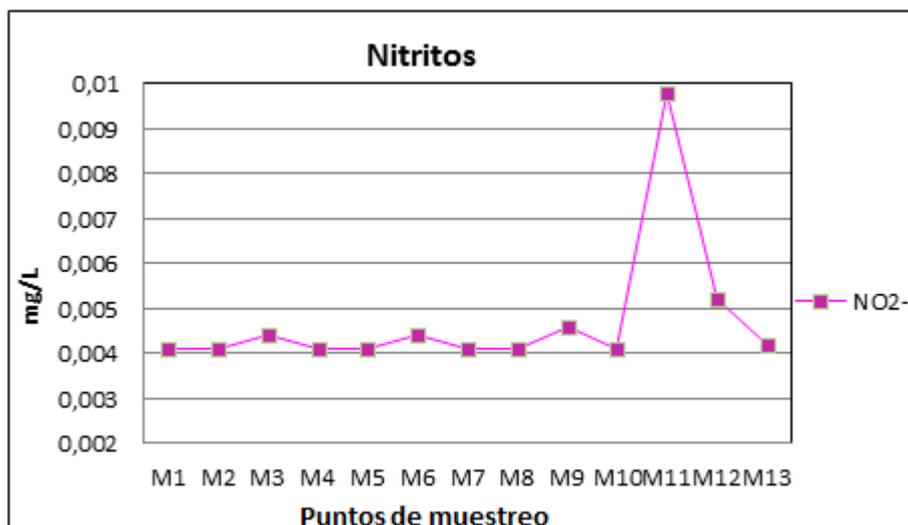


Figura 12. Comportamiento del NO_2^- en los puntos de muestreo.

Cloruros (Cl^-) y sulfato (SO_4^{2-})

El cloruro no se oxida ni se reduce en aguas naturales. Más de 300 mg/L produce un sabor salado pero no es perjudicial hasta unos miles mg/L; es esencial para la vida (Custodio 2001).

Los valores de cloruros se encuentran en el rango de 2,55-10,18 mg/L; se halla por debajo de la concentración máxima admisible según las normas 827:2012 y la OMS. Se aprecian bajas concentraciones de sulfatos, se presentan valores entre 5,94–8,002 mg/L. En tiempo de lluvias intensas los valores de sulfatos siempre tienden a aumentar (Figura 13).

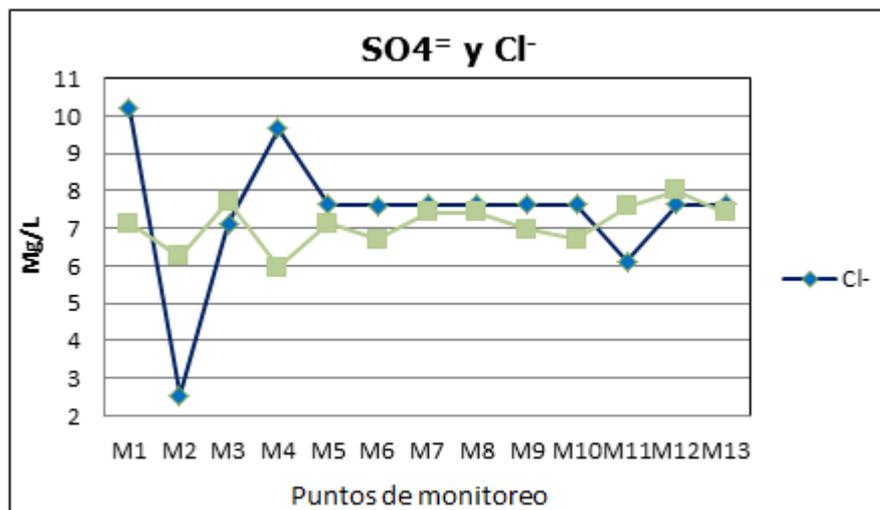


Figura 13. Comportamiento del SO_4^{2-} y el Cl^- en los puntos de muestreo.

Las cantidades de sulfato pueden deberse a la oxidación de los sulfuros diseminados en las peridotitas y harzburgitas, entre los que se encuentran la pirrotina, en menor medida calcosina. Según este parámetro el agua es apta para consumo humano con tratamiento simple, ya que presentan contenidos por debajo del límite definido (< 150 mg/L) para una calidad de clase A.

Cr Total y cromo hexavalente (Cr^{6+})

En las muestras estudiadas los valores de cromo total determinados oscilan entre 0,012 mg/L hasta 0,37 mg/L, encontrándose por encima de los valores permisibles según norma cubana 827:2012 (Figura 14).

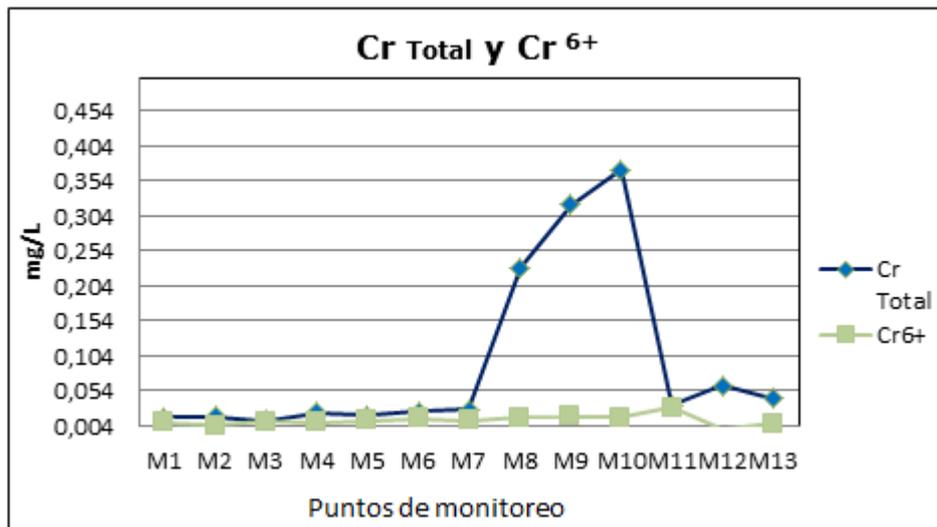


Figura 14. Comportamiento del Cr total y cromo hexavalente Cr⁶⁺ en los puntos de muestreo.

Los valores de cromo hexavalente oscilan entre 0,00 y 0,03 mg/L, el estado hexavalente suele ser común en las aplicaciones industriales y es un veneno sistémico de alta nocividad. La toxicidad para las especies acuáticas es variable. Generalmente, no aparecen en grandes concentraciones en las aguas naturales.

3.2. Resultados bacteriológicos

Se observó alteración en la muestra M11, con presencia de seis coliformes totales por encima de 2,2 NMP/100 ml, lo que es tolerable según norma cubana (Figura 15); no obstante, se necesitan controles sistemáticos para mantener o bajar las cantidades de estas bacterias. Su presencia es debido a las descargas ocasionales de aguas albañales. No se detectó presencia de coliformes fecales por encima del valor límite.

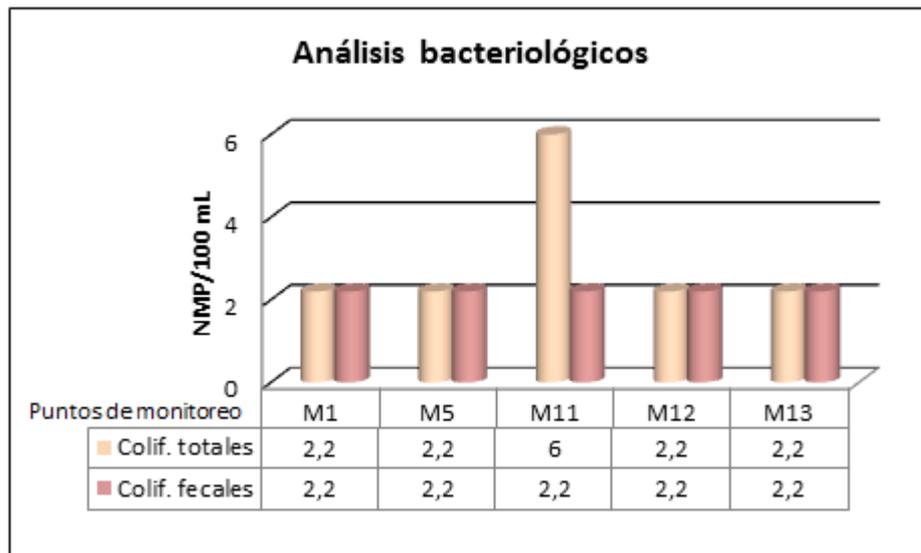


Figura 15. Resultados de los análisis bacteriológicos en los puntos de muestreo.

4. CONCLUSIONES

- Las principales fuentes contaminantes de las aguas del río Cayo Guam tienen su origen en la acción antrópica, destacando la deforestación por la exploración y explotación de los yacimientos lateríticos y de cromitas, y en segundo lugar la explotación de los yacimientos de sedimentos friables (arena, gravas, cantos rodados) en el cauce del río, que aumenta la erosión lateral y deslizamientos de laderas.
- Las aguas de Cayo Guam son poco mineralizadas; por su pH son ligeramente básicas. Según la clasificación de Aliokin son aguas hidrocarbonadas-magnésicas del tipo I, y por su dureza son aguas blandas.
- Los efectos degradantes progresivos sobre las propiedades de las aguas son evidentes. La presencia de nitrito se debe, fundamentalmente, a las descargas de aguas albañales y descomposición de la materia orgánica que sobrepasa los valores máximos admisibles para agua potable.
- La manifestación de concentraciones trazas de metales como níquel, cobalto, cromo total y Cr^{6+} básicamente está dada por la litología de la zona donde circulan las aguas y por el desarrollo minero, que incrementan los procesos de contaminación

5. REFERENCIAS

- APHA-AWWA-WEF 1995: *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19th edition. Washington DC, EEUU.
- Mora, D. A.; Mata, A. V. y Portuguez, C. F. 2011: *Calidad microbiológica de las fuentes de agua superficiales utilizadas para abastecimiento de agua potable en Costa Rica*. San José (Costa Rica): Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. 41 p. Disponible en: <http://www.bvs.sa.cr/ambiente/textos/ambiente09.pdf>
- Chapman, D. 1996: *Water quality assessment. A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. 2 ed. London: UNESCO/who/unep. 626 p.
- Custodio, E. 2001: Effects of groundwater development on the environment. *Boletín Geológico y Minero, Madrid*, 111(6): 107–120.
- De Miguel, C. 2008: *Hidrogeología aplicada*. 2 ed. La Habana: Félix Varela. 73 p.
- Mora, D. 2003. Agua para consumo humano y disposición de excretas: situación de costa rica en el contexto de américa latina y el caribe - 1960/2000. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 12(21): 31-46. ISSN: 1409-1429. Disponible en: <http://www.scielo.sa.cr/scielo.php>
- Fernández, M. 2013: Impacto ambiental por contaminación de las aguas subterráneas y superficiales en el municipio de Moa. En: *Conferencia Internacional Cinarem' 2013*. Moa (Cuba): Instituto Superior Minero Metalúrgico.
- García, D. 2013: *Análisis de los factores de degradación de los suelos en la cuenca del río Cayo Guam*. Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa.
- Goyenola, G. 2007: Guía para la utilización de las valijas viajeras. Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos. Uruguay. Disponible en: http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/1-presentacion_mapsa.pdf
- Norma Cubana 827:2012: Agua potable, requisitos sanitarios. La Habana: Oficina Nacional de Normalización.
- Norma Cubana 27-1999: Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones. La Habana: Oficina Nacional de Normalización.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2003: Norma Oficial Mexicana Nom-Semarnat-001-1996: Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. *Diario Oficial de la Federación*, 23 de abril.

Rodríguez, A. 1998: *Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de los riesgos de génesis tectónica*. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa.

Organización Mundial de la Salud (OMS). 2004: *Guías para la calidad del agua potable*. 3 ed. Ginebra: OMS. 515 p.

Zhen, B. Y. 2010: Índices de calidad del agua en la microcuenca de la quebrada Victoria, Guanacaste, Costa Rica (2007-2008). *Cuadernos de Investigación UNED*, 2(1): 45-61. Consultado: 15 dic 2017. Disponible en: <http://investiga.uned.ac.cr/revistas/index.php/cuadernos>

Recibido: 28/04/17

Aceptado: 13/03/18

Moraima Fernández-Rodríguez, Departamento de Geología. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín, Cuba
mfernandez@ismm.edu.cu