

Evaluación de la contaminación de las aguas del río Yamanigüey

Evaluation of water contamination in Yamanigüey River

Pedro Dunán-Avila^{1,a}, Moraima Fernández-Rodríguez^{1,b}, Amalia Beatriz Riverón-Zaldivar^{1,c},
Pedro Rafael Bassas-Noa^{2,d}

Recibido: 24/05/2024 - Aprobado: 30/08/2024 – Publicado: 19/09/2024

RESUMEN

El agua es esencial para la economía y el bienestar comunitario, pero su calidad puede verse afectada por factores naturales y humanos. El objetivo de la presente investigación fue analizar la contaminación del río Yamanigüey mediante índices de contaminación, tales como materia orgánica, sólidos suspendidos, pH y trofia, dado que es uno de los ríos más importantes de Moa. Se recolectaron doce muestras para evaluar inicialmente sus propiedades fisicoquímicas y bacteriológicas, siguiendo la Norma Cubana (NC 1021, 2014) "Higiene comunal - fuentes de abastecimiento de agua - calidad y protección sanitaria", la Norma Cubana (NC 827, 2017) "Agua potable - requisitos sanitarios" y la norma de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011) "Guías para la calidad del agua de consumo humano". Posteriormente, se aplicaron los índices de contaminación. Los principales resultados muestran que, de acuerdo con las Normas Cubanas evaluadas y la norma de la Organización Mundial de la Salud, las aguas se encuentran tanto por debajo como por encima de los límites máximos y mínimos aceptables. Se concluyó que las aguas del río Yamanigüey se clasifican como de medio, bajo y nulo grado de contaminación, según los índices evaluados.

Palabras claves: calidad del agua; contaminación del agua; índices de contaminación; recursos hídricos; río Yamanigüey.

ABSTRACT

Water is essential for the economy and community welfare, but its quality can be affected by natural and human factors. The present research aimed to analyze water contamination in the Yamanigüey River through contamination indexes such as organic matter, suspended solids, pH and Trophic, given that it is one of the most important rivers in Moa. Twelve samples were collected to initially evaluate their physicochemical and bacteriological properties according to the Cuban Standard (NC 1021, 2014) "Communal hygiene - water supply sources - quality and sanitary protection", the Cuban Standard (NC 827, 2017) "Drinking water - sanitary requirements" and the World Health Organization (WHO, 2011) standard "Guidelines for the quality of water for human consumption", followed by the application of the contamination indexes. As main results it was obtained that, according to the Cuban Standards evaluated and the World Health Organization Standard, the waters are both below and above the maximum and minimum acceptable limits. We concluded that the waters of the Yamanigüey River are classified in waters with medium, low and no degree of contamination according to the evaluated indexes.

Keywords: water quality; water pollution; contamination indexes; water resources; Yamanigüey river.

1 Universidad de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez", Facultad de Geología y Minería. Avenida Calixto García Iñiguez #15 entre Avenida 7 de diciembre y Calle Reynaldo Laffita Rueda, Reparto Caribe, Moa, Holguín, Cuba.

2 Centro de Investigaciones del Níquel "Capitán Alberto Fernández Montes de Oca". Carretera Yagrumaje Km. 7, Moa, Holguín, Cuba.

a Autor para la correspondencia: pdunanavila@gmail.com - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0022-6662>

b E-mail: mfernandez@ismm.edu.cu - ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1211-3865>

c E-mail: briveron@ismm.edu.cu - ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7155-5626>

d E-mail: pbassas@cil.moa.minem.cu - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6690-2539>

I. INTRODUCCIÓN

El agua es fundamental para los procesos que se realizan en la Tierra y en la vida diaria de las personas. Su gestión es crucial debido al aumento de su demanda, impulsado por el crecimiento poblacional y económico (Liu et al., 2011; Cheng et al., 2009). Sin embargo, hay comunidades que no tienen acceso diario al agua potable y deben recorrer largas distancias para obtenerla. La calidad del agua se determina por sus minerales y sus propiedades fisicoquímicas y bacteriológicas. En el caso del agua potable, se establecen normas para garantizar su pureza y seguridad en el consumo humano y animal, basadas en niveles de toxicidad aceptables para ambos. Para ello, se lleva a cabo una evaluación de su calidad mediante análisis fisicoquímicos y bacteriológicos para comprender su composición química y los efectos del exceso de ciertas sustancias (Carr & Neary, 2008).

El análisis bacteriológico es esencial para prevenir epidemias causadas por la contaminación del agua. Este análisis no busca directamente los gérmenes patógenos, ya que estos no sobreviven mucho tiempo fuera del cuerpo humano o animal. En su lugar, se investigan organismos no patógenos, como los coliformes, que se excretan junto con los patógenos en mayor cantidad y pueden sobrevivir durante varias semanas en el agua, lo que los convierte en indicadores confiables de contaminación fecal (Atherholt et al., 2003). Además de los análisis bacteriológicos, otros indicadores como los sólidos suspendidos, el color, la turbidez, la temperatura, el pH y la conductividad se utilizan para evaluar la calidad del agua y detectar contaminación orgánica mediante análisis como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y la demanda química de oxígeno (DQO) (León, 1991).

Durante décadas, ha existido un creciente interés en estudiar diversos cuerpos de agua utilizando los índices de calidad de agua (ICA) y los índices de contaminación (ICO). Estas herramientas permiten calcular rápidamente y con precisión la calidad de cualquier cuerpo de agua. Un estudio desarrollado por Ramírez et al. (1997) introdujo cuatro índices de contaminación: el índice de contaminación por Trofia (ICOTRO), el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO), el índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) y el índice de contaminación por mineralización (ICOMI), basados en la correlación entre las principales características fisicoquímicas de las aguas continentales en España. Este estudio demostró que estos índices son independientes, complementarios y capaces de describir una variedad de problemas ambientales, proporcionando una rápida interpretación del estado de la calidad del agua evaluada. Posteriormente, en 1999, se desarrollaron nuevos ICO, como el índice de contaminación por pH (ICOpH), el índice de contaminación por temperatura (ICOTEM) y los índices de contaminación por hidrocarburos, con el objetivo de realizar un análisis más detallado de la posible contaminación presente en las aguas (Ramírez et al., 1999).

En Cuba, debido a la creciente demanda del recurso agua, las administraciones deben plantear nuevos objetivos para la gestión y supervisión de sus principales recursos hídricos. Tanto a nivel mundial como en Cuba se han realizado numerosas investigaciones sobre la evaluación

de la calidad del agua mediante la aplicación de los ICA (Coello et al., 2013; Lucas Vidal & Carreño Mendoza, 2018; Veloz Mayorga & Carbonel H., 2018; Rodríguez Hechavarría, 2019; Fernández-Rodríguez & Guardado-Lacaba, 2021), pero muy pocos se han enfocado en analizar la contaminación del agua a través de los ICO (Chavarro & Gelvez Bernal, 2016; Jayo Cuellar, 2022; Estremadoyro Martínez & Zeballos Zeballos, 2022). En Yamanigüey (lugar donde se localiza el río estudiado), en los últimos años se han realizado varias investigaciones (Crespo Lambert, 2018; Dunán-Avila, 2019; Dunán-Avila et al., 2020; Dunán-Avila et al., 2021; Dunán-Avila et al., 2022) con el objetivo de evaluar la composición química y la calidad del agua del río y del asentamiento rural de Yamanigüey. Sin embargo, no existen antecedentes de estudios relacionados con la evaluación de la contaminación de las aguas mediante los índices de contaminación en esta región. Por tanto, el propósito de esta investigación es evaluar la contaminación de las aguas del río Yamanigüey a través de los índices de contaminación por materia orgánica (ICOMO), índices de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS), índices de contaminación por pH (ICOpH) e índices de contaminación por Trofia (ICOTRO).

II. MÉTODOS

2.1. Características fisicogeográficas de la región

El río Yamanigüey, localizado en el poblado homónimo en el municipio de Moa, Holguín, Cuba (Figura 1), es una de las principales fuentes de abastecimiento de agua en la región estudiada. Este río se encuentra dentro de los límites del Parque Nacional Alejandro de Humboldt. La región presenta un clima tropical con precipitaciones abundantes, resultado del relieve montañoso y los vientos alisios cargados de humedad provenientes del océano Atlántico. La temperatura media anual varía entre 22.6 °C y 30.5 °C, y la humedad relativa media anual alcanza el 85 %. Los meses más húmedos son diciembre, con un 94 %; noviembre, con un 86 %; y octubre, con un 90 %. La evaporación anual oscila entre 2200 y 2400 mm, siendo julio y agosto los meses más secos (Viltres Milán, 2010).

Geológicamente, el municipio de Moa se encuentra en el complejo ofiolítico Mayarí-Baracoa, conocido por sus importantes yacimientos de níquel y cobalto, cuya extracción es realizada por las fábricas minero-metalúrgicas de la región. El río Yamanigüey fluye sobre formaciones máficas y ultramáficas del Cretácico inferior, así como sobre depósitos aluviales y palustres del Holoceno (IGP, 2011).

2.2. Muestreo y análisis fisicoquímico del agua

Para este estudio, se tomaron 12 muestras de agua del río Yamanigüey en frascos de vidrio y plástico de 500 mL, esterilizados y con tapa de rosca. Las muestras se recolectaron sumergiendo los frascos en la columna de agua a contracorriente, a una profundidad de 30 cm. Inmediatamente, se rotularon con el nombre del sitio, la fecha y la hora. En cada punto de muestreo se recolectaron tres muestras de 500 mL cada una (para un total de 36 muestras) y se transportaron a los laboratorios de calidad de agua pertinentes, donde fueron procesadas con rapidez.

Las propiedades fisicoquímicas y bacteriológicas del agua (Tabla 1) fueron analizadas por duplicado para asegurar la fiabilidad de los resultados. Los análisis se realizaron en el Centro de Investigaciones del Níquel, Capitán Alberto Fernández Montes de Oca (CEDINIQU), en la Unidad de Proyectos de Laboratorio, en la Empresa de Análisis y Servicios Técnicos Santiago de Cuba (ENAST) y en el Laboratorio Químico UBSPRS, perteneciente a la Empresa Ernesto Che Guevara.

2.3. Procesamiento de la información

Los resultados fisicoquímicos y bacteriológicos de las muestras de agua del río fueron analizados conforme a la norma APHA (2017) y se ubicaron en un mapa digital utilizando el software QGIS (Figura 1). Estos resultados se compararon con los límites máximos y mínimos permisibles establecidos por las Normas Cubanas (NC 827, 2017; NC 1021, 2014) y la Norma de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011). A partir de los resultados fisicoquímicos y bacteriológicos, se calcularon los índices de contaminación, los cuales varían de 0 a 1 y reflejan el grado de contaminación. Valores cercanos a cero (0) indican una contaminación muy baja, mientras que valores cercanos a uno (1) indican lo contrario (Ramírez et al., 1999).

El índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) está compuesto por el índice de demanda biológica de oxígeno (I_{DBO}), el índice de coliformes totales (Icoliformes) y el índice del porcentaje de saturación de oxígeno (Ioxígeno). El ICOMO se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$ICOMO = \frac{1}{3} (I_{DBO} + I_{Coliformes} + I_{Oxígeno \%}) \quad (1)$$

Dónde:

$$I_{DBO} = -0.05 + 0.70 \text{ Log}_{10} DBO(\text{mg/L}) \quad (2)$$

$$DBO_5 > 30 \text{ (mg/L)} = 1$$

$$DBO_5 < 2 \text{ (mg/L)} = 0$$

$$I_{Coliformes} = -1.44 + 0.56 \text{ Log}_{10} Col.Tot(NMP/100ml) \quad (3)$$

$$Coliformes \text{ Totales} > 20.000 \text{ (NMP/ 100 ml)} = 1$$

$$Coliformes \text{ Totales} < 500 \text{ (NMP/ 100 ml)} = 0$$

$$I_{Oxígeno \%} = 1 - 0.01 Oxígeno \% \quad (4)$$

Oxígenos (%) mayores a 100 % tienen un índice de oxígeno de 0.

Para sistemas lénticos con eutrofización y porcentajes de saturación mayores al 100 % se sugiere reemplazar la expresión por:

$$I_{Oxígeno \%} = 0.01 Oxígeno \% - 1 \quad (5)$$

El índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) está conformado por los sólidos suspendidos. El ICOSUS se determinó mediante la fórmula:

$$ICOSUS = -0.02 + 0.0003 \text{ Sólidos Suspendidos (mg/L)} \quad (6)$$

$$\text{Sólidos Suspendidos} > 340 \text{ mg/L} \text{ tienen un ICOSUS} = 1$$

$$\text{Sólidos Suspendidos} < 10 \text{ mg/L} \text{ tienen un ICOSUS} = 0$$

El índice de contaminación por pH (ICOpH) está conformado por la concentración de pH en el agua y se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$ICOpH = \frac{e^{-31.08+3.45pH}}{1+e^{-31.08+3.45pH}}$$

El índice de contaminación por Trofia (ICOTRO), se calcula sobre la base de la concentración de fósforo total en el agua (en mg/L) y se clasifica según Tabla 2.

Los índices de contaminación (ICOMO, ICOSUS, ICOpH) se clasifican según se aprecia en la Tabla 3.

Figura 1
Representación geográfica del área de estudio y los puntos de muestreo

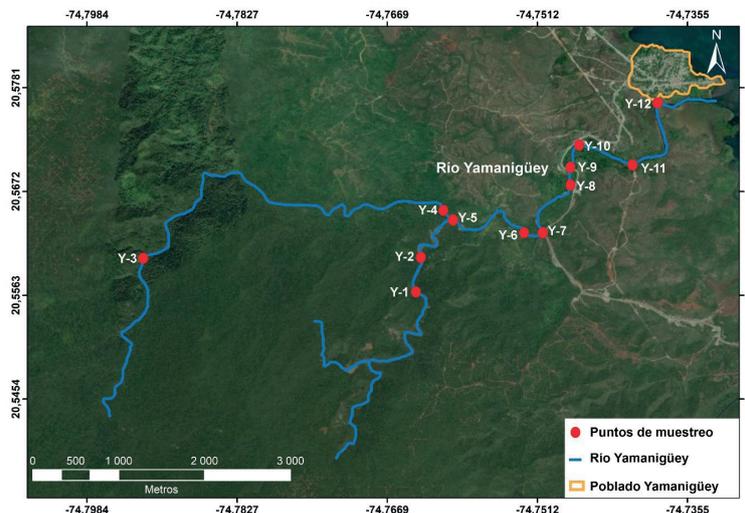


Tabla 1*Parámetros fisicoquímicos y métodos utilizados para el análisis de las muestras en el río Yamanigüey*

Parámetros	Unidades	Método
Sólidos suspendidos	mg/L	Gravimétrico
Materia orgánica	mg/L	Colorimétrico
Color real	Unidades de color	Comparación visual
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	Volumétrico
Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/L	Colorimétrico
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	Gravimétrico
Carbonatos	mg/L	Volumétrico
Hidrocarbonatos	mg/L	Volumétrico
DQO	mg/L	Oxidación en autoclave
Fósforo total	mg/L	Colorimétrico
Amoníaco	mg/L	Volumétrico
Sílice	mg/L	Absorción Atómica
pH	Unidades de pH	Electrométrico
DBO ₅	mg/L	Determinación de DBO (5 días a 20°C)
Coliformes totales	NMP/ 100 ml	Tubos múltiples de fermentación
Oxígeno disuelto (OD)	% saturación de oxígeno	Desplazamiento de oxígeno

Tabla 2*Significancia del índice de contaminación por Trofia*

Clasificación	Rango	Escala de color
Oligotrofia	< 0.01	Azul
Mesotrofia	0.01 – 0.02	Verde
Eutrofia	0.02 – 1.00	Amarillo
Hipereutrofia	> 1.00	Rojo

Nota: Ramírez et al. (1997) y modificado por el autor.

Tabla 3*Significancia de los índices de contaminación (ICO)*

ICO	Grado de contaminación	Escala de color
0 – 0.2	Ninguna	Azul
> 0.2 – 0.4	Baja	Verde
> 0.4 – 0.6	Media	Amarillo
> 0.6 – 0.8	Alta	Naranja
> 0.8 – 1.00	Muy alta	Rojo

Nota: Ramírez et al. (1999).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y bacteriológicas de las aguas del río Yamanigüey según las Normas Cubanas (NC 827, 2017; NC 1021, 2014) y la Norma de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011)

Se analizaron las aguas del río Yamanigüey para evaluar, en primer lugar, sus propiedades fisicoquímicas y

bacteriológicas de acuerdo con las normas cubanas e internacionales para agua potable, seguido de la aplicación de los índices de contaminación.

3.1.1 Evaluación del pH, oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno y coliformes totales

El pH desempeña un papel fundamental en la calidad del agua y requiere una supervisión minuciosa durante

todas las fases del tratamiento para garantizar una adecuada clarificación y desinfección (OMS, 2011). Según las Normas Cubanas (NC 827, 2017; NC 1021, 2014), los valores de pH de las 12 muestras estudiadas se encuentran dentro de los límites máximos permitidos (entre 6.5 y 8.5; Figura 2A). De acuerdo con la OMS (2011), la desinfección con cloro es efectiva cuando el pH es inferior a 8. Dado que los valores de pH en las muestras analizadas son inferiores a 8, no se consideran aguas corrosivas.

El oxígeno disuelto (OD) en el agua es esencial para la fauna acuática, pero puede ser consumido más rápido de lo que se reemplaza desde la atmósfera, lo que provoca competencia entre los organismos acuáticos y afecta la distribución de la vida en el agua. En el agua destinada al consumo humano, los niveles de oxígeno disuelto son influenciados por diversos factores, como los valores iniciales en la fuente de agua, la temperatura, los tratamientos aplicados y los procesos químicos o biológicos durante la distribución. Los valores de oxígeno disuelto en todas las muestras analizadas superan el límite mínimo admisible establecido por la Norma Cubana (NC 1021, 2014), que es de 4.0 mg/L (Figura 2B).

La demanda biológica de oxígeno (DBO_5) es un indicador cuantitativo de la contaminación del agua por materia orgánica, que refleja la velocidad a la cual los microorganismos descomponen esta materia y consumen oxígeno. Factores como la temperatura, la composición microbiana y la disponibilidad de nutrientes influyen en esta medida. Bajo condiciones constantes de estos factores, la tasa de oxidación de la materia orgánica puede ser expresada en términos de la vida media del nutriente. Según la Norma Cubana (NC 1021, 2014), el límite máximo admisible de DBO_5 es de 4.0 mg/L (Figura 2C). Se encontraron valores superiores a este límite en las muestras Y-10, Y-11 y Y-12. Este aumento se atribuye al alto volumen de microorganismos presentes, incluyendo coliformes totales y termotolerantes, en el río, debido a la contaminación generada por corrales de cerdos ubicados aguas abajo en la cuenca.

Los coliformes totales (C. Totales) son microorganismos que se encuentran en múltiples entornos, incluidos el suelo, las aguas superficiales, las plantas, así como en los intestinos de animales y seres humanos. Este grupo incluye especies fecales y ambientales, con microorganismos capaces de sobrevivir y multiplicarse en el agua.

La Organización Mundial de la Salud ha sugerido que los coliformes totales podrían servir como indicadores de la efectividad de la desinfección del agua (OMS, 2011). Los valores de coliformes totales en las 12 muestras analizadas varían entre 2.20 NMP/100 mL y 16.00 NMP/100 mL (Figura 2D). Según la Norma Cubana (NC 1021, 2014), que establece un límite de < 2 NMP/100 mL, todas las muestras evaluadas superan los rangos permitidos.

3.1.2 Evaluación de los hidrocarbonatos, los carbonatos, el amoníaco, el silicio en las aguas del río Yamanigüey

Los hidrocarbonatos (HCO_3^-) no representan riesgos para la salud humana y no se establecen valores de referencia perjudiciales en las normas de análisis químico de agua. Los niveles de hidrocarbonatos obtenidos oscilan entre 43.24 – 97.00 mg/L (Figura 3A). Los valores de carbonatos (CO_3^{2-}) en todas las muestras son nulos (Figura 3B), lo cual indica que no se trata de aguas ácidas, como se ha confirmado con los resultados previos del pH.

El amoníaco (NH_3) en el medio ambiente proviene de diversos procesos metabólicos, agrícolas e industriales. Las concentraciones naturales en aguas subterráneas y superficiales suelen ser inferiores a 0.2 mg/L. Este compuesto se encuentra naturalmente en cuerpos de agua debido a la descomposición de compuestos orgánicos e inorgánicos en el suelo y el agua, un proceso impulsado por la excreción de la biota, la reducción del nitrógeno gaseoso por microorganismos en el agua o el intercambio de gases con la atmósfera. El amoníaco sirve como indicador potencial de contaminación del agua por bacterias, aguas residuales o residuos de animales. La Organización Mundial de la Salud ha sugerido un umbral gustativo de 35 mg/L para el catión amonio (NH_4^+), lo que corresponde a 25.9 mg/L de nitrógeno amoniacal. En las muestras analizadas, los valores de amoníaco oscilan entre 0.00 – 34.00 mg/L, correspondientes al mínimo y máximo respectivamente (Figura 3C).

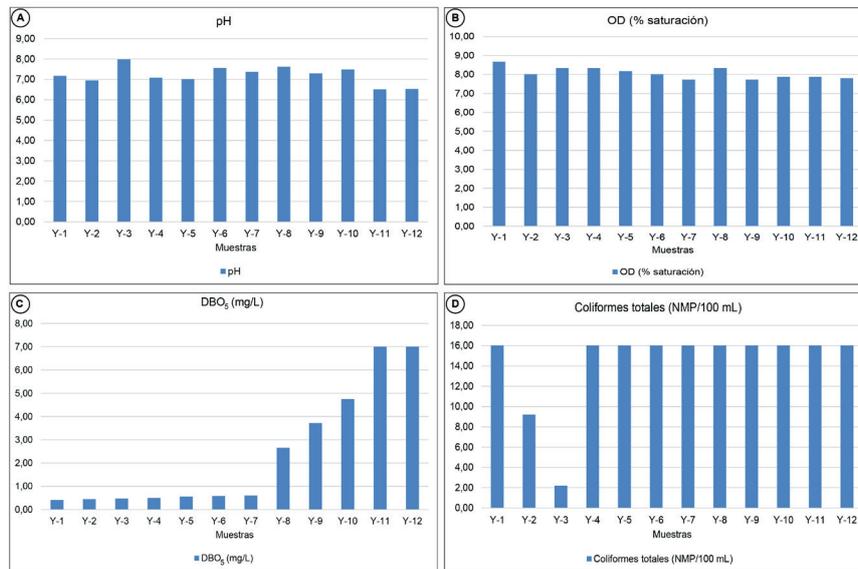
Según la Norma Cubana (NC 827, 2017), no debe haber presencia de amoníaco en el agua, como en las muestras Y-7, Y-8, Y-10, Y-11 y Y-12; sin embargo, las muestras Y-1, Y-2, Y-3, Y-4, Y-5, Y-6 y Y-9 presentan valores por encima de este límite. El mayor valor de amoníaco registrado es de 34.00 mg/L en la muestra Y-5. Estos altos niveles de amoníaco en las aguas del río sugieren una contaminación reciente que podría estar relacionada con el uso de fertilizantes o la actividad minera en la región, es por lo que, se recomienda realizar un estudio detallado sobre la presencia de este compuesto en las aguas del río Yamanigüey.

El silicio (Si) es un semimetal que representa el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre. El desgaste de las rocas produce dióxido de silicio, comúnmente conocido como sílice, presentes en el agua natural. Los niveles de sílice en las muestras analizadas varían entre 4.28 – 7.83 mg/L (Figura 3D), correspondientes al mínimo y al máximo respectivamente.

La presencia de silicio en las aguas del río Yamanigüey se debe a la litología por la cual fluyen sus aguas, en este caso, las rocas del complejo ofiolítico Mayarí-Baracoa. Esto permite que el agua, con su capacidad de disolución, incorpore los elementos químicos de las rocas presentes en su cauce.

Figura 2

Representación gráfica de los contenidos de: A) pH; B) Oxígeno disuelto; C) Demanda biológica de oxígeno; D) Coliformes totales



3.1.3 Evaluación de los sólidos suspendidos, la materia orgánica, el color real y la demanda química de oxígeno en las aguas del río Yamanigüey

Los sólidos suspendidos (SS) son pequeñas partículas sólidas que permanecen en suspensión en el agua, ya sea como coloides o debido al movimiento del agua. Los niveles de sólidos suspendidos en las muestras varían entre 0,00 y 2,00 mg/L (Figura 4A), reflejando valores mínimos y máximos, respectivamente. El valor de 2,00 mg/L (perteneciente a la muestra Y-8) se debe a la deforestación existente cerca del cauce del río, lo cual incumple la Norma Cubana (NC 23, 1999) para las franjas forestales en cauces fluviales. Un estudio precedente (Dunán-Ávila et al., 2020) indica que durante el período de sequía en el río Yamanigüey, la cantidad de materia sedimentable fue inferior a 0,1 ml/L·h, debido a la ausencia de sólidos suspendidos en el agua, lo que impidió su sedimentación en los conos de Imhoff.

La materia orgánica (MO) es una combinación compleja y diversa de macromoléculas, que incluye sustancias húmicas, carbohidratos y aminoácidos en aguas dulces. En los ríos, esta materia orgánica puede proceder de la descomposición de materiales biológicos de animales, plantas y microorganismos. Los niveles de MO en las muestras analizadas varían entre 0,1 y 8,9 mg/L (Figura 4B). Se observa un incremento de los valores de MO en la parte baja del río a causa de la presencia de árboles muertos en el lecho del río, ocasionada por eventos hidrometeorológicos y la deforestación indiscriminada.

El color real es un parámetro organoléptico que indica la calidad del agua potable y está influenciado por las sustancias disueltas y las partículas en suspensión presentes en ella. En condiciones no contaminadas, las aguas superficiales tienden a ser incoloras. En 8 de las 12 muestras analizadas, los resultados del color real cumplen

con las Normas Cubanas (NC 827, 2017; NC 1021, 2014) y la Norma de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011), con valores inferiores a 15 unidades de color (UC) (Figura 4C). Las muestras Y-2, Y-11 y Y-12 están dentro de los límites permitidos por las normas, mientras que la muestra Y-10 excede los límites establecidos. Los valores del color real oscilan entre 7,00 y 22,50 unidades Pt/Co (Platino/Cobalto).

La demanda química de oxígeno (DQO) indica la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo. Los valores de la DQO en las muestras analizadas oscilan entre 27,00 y 90,00 mg/L (Figura 4D).

3.1.4 Evaluación del cloruro, el nitrito, los sulfatos y el fósforo total en las aguas del río Yamanigüey

El ión cloruro (Cl⁻) es uno de los iones inorgánicos más comunes en aguas naturales, residuales y tratadas. Su presencia es necesaria en aguas potables. Concentraciones elevadas de cloruro confieren un sabor salado al agua y a las bebidas. Todos los valores de las muestras analizadas están por debajo de los límites permitidos por las Normas Cubanas (NC 1021, 2014) y la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011) (250 mg/L) (Figura 5A).

Al evaluar los resultados químicos correspondientes al nitrito (NO₂⁻), en las 12 muestras analizadas según la Norma de la OMS (2011) y la Norma Cubana (NC 827, 2017), las concentraciones de este compuesto químico están por debajo del límite permitido (3,00 mg/L) (Figura 5B).

Los niveles de sulfatos (SO₄²⁻) en todas las muestras analizadas están por debajo de los límites permitidos según las Normas Cubanas (NC 827, 2017; NC 1021, 2014;

400 mg/L) y la Norma de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011) (500 mg/L). Los valores varían entre 0,00 y 93,40 mg/L (Figura 5C). La muestra Y-12 muestra el contenido más alto de sulfato debido a su ubicación cercana a la costa, donde hay un mayor intercambio iónico entre las aguas del río y del mar, además de la influencia de la actividad humana en la zona.

La concentración de fósforo total indica la cantidad de fósforo presente tanto en forma orgánica como inorgánica,

disuelta y particulada, en los sistemas acuáticos. En muchos ecosistemas acuáticos, el fósforo es el elemento limitante para la producción primaria, lo que juega un papel crucial en la determinación del estado trófico de estos ecosistemas. Los valores de fósforo total oscilan entre 0,00 y 0,40 mg/L (Figura 5D). En la muestra Y-4 se aprecia un incremento del fósforo total debido a diversas actividades humanas y la erosión existente en el río. Es recomendable realizar un estudio detallado de la presencia de este elemento químico en las aguas del río Yamanigüey.

Figura 3

Representación gráfica de los contenidos de: A) Carbonatos; B) Hidrocarbonatos; C) Amoníaco; D) Sílice

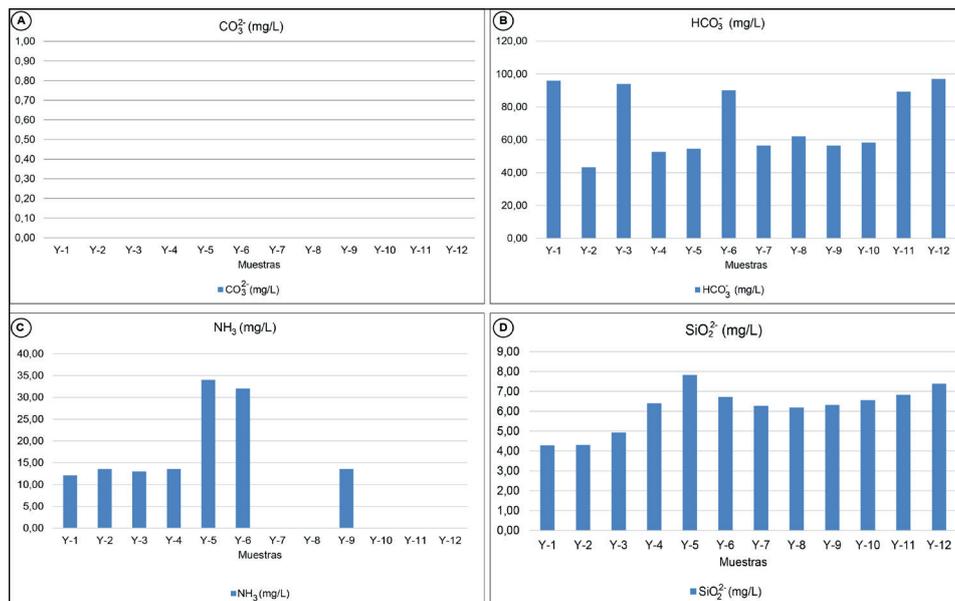


Figura 4

Representación gráfica de los contenidos de: A) Sólidos suspendidos; B) Materia orgánica; C) Color real; D) Demanda química de oxígeno

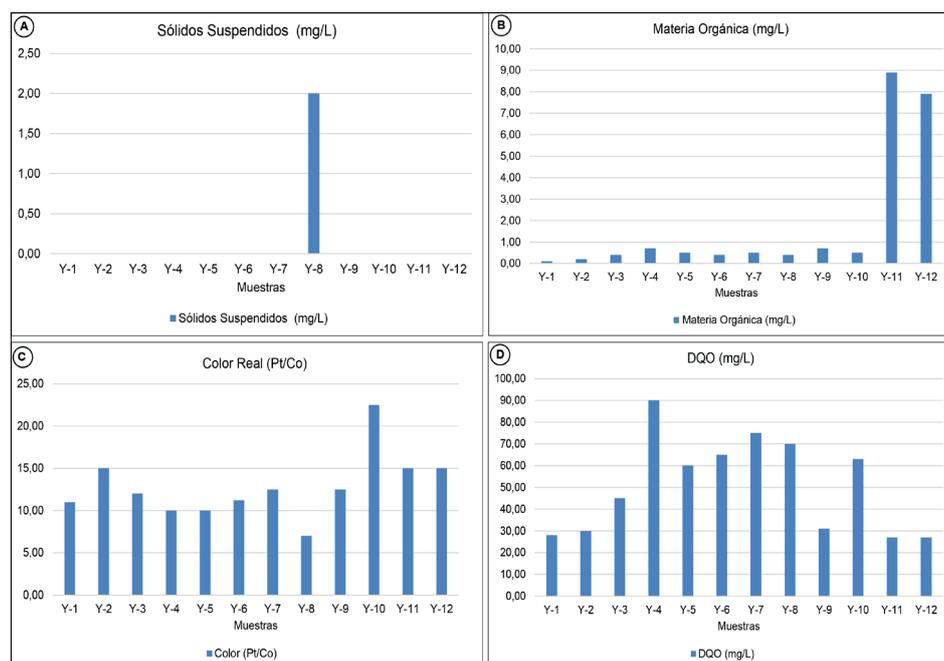
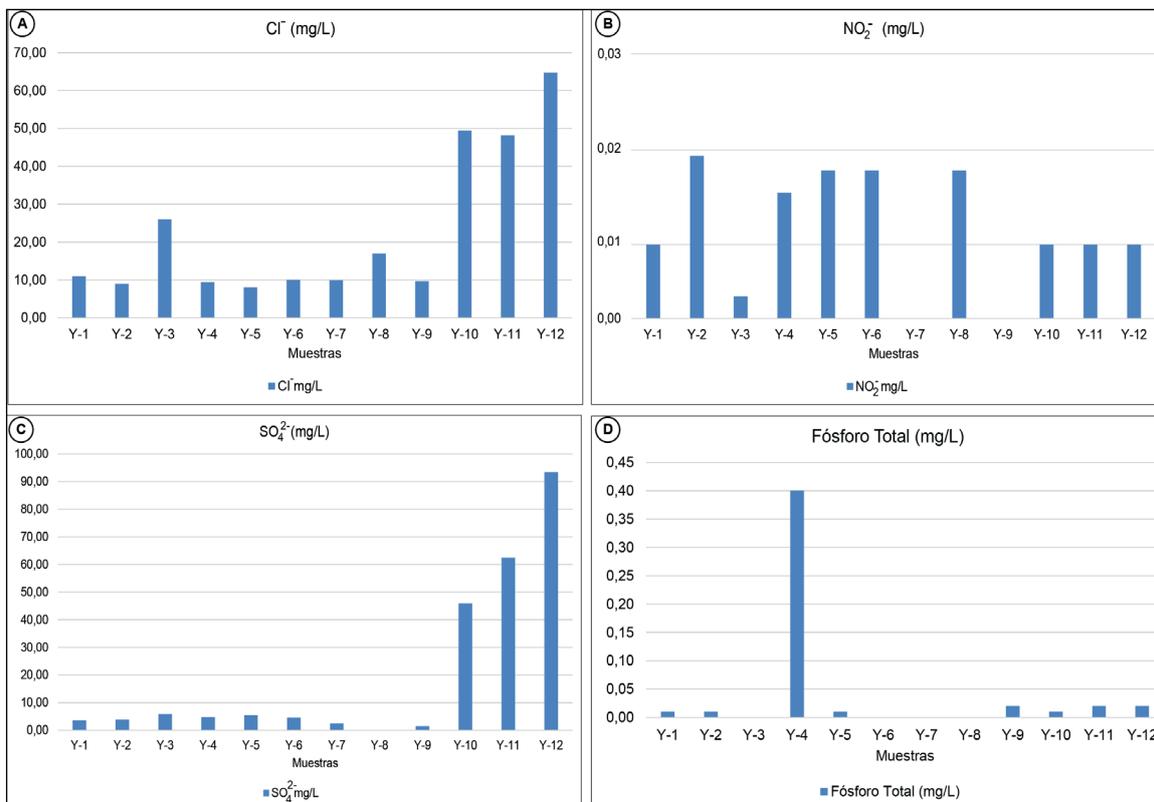


Figura 5

Representación gráfica de los contenidos de: A) Cloruros; B) Nitrito; C) Sulfato; D) Fósforo total



3.2 Evaluación de los índices de contaminación de las aguas en el río Yamanigüey

Al evaluar el índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO) en las 12 muestras estudiadas, 8 muestras (Y-1 a Y-8) se clasifican como aguas con bajo grado de contaminación (Figura 6A), con valores que oscilan entre 0,30 y 0,38, indicando un mínimo y un máximo, respectivamente. Las 4 muestras restantes (Y-9 a Y-12) se clasifican como aguas con medio grado de contaminación (corroborándose con los resultados de los análisis químicos) al presentar valores en el rango de 0,42 a 0,46. El punto 1 muestra el menor nivel de contaminación por materia orgánica, mientras que el punto 12 presenta el más alto. El valor más elevado de ICOMO corresponde a la desembocadura del río, una zona donde se acumulan todos los elementos transportados desde las zonas de mayor elevación.

El cálculo del índice de contaminación por sólidos suspendidos (ICOSUS) arrojó como resultado que las 12 muestras analizadas se clasifican como aguas sin ningún grado de contaminación (Figura 6B). Los valores de sólidos suspendidos en las muestras de agua oscilan entre 0,00 y 0,02 mg/L.

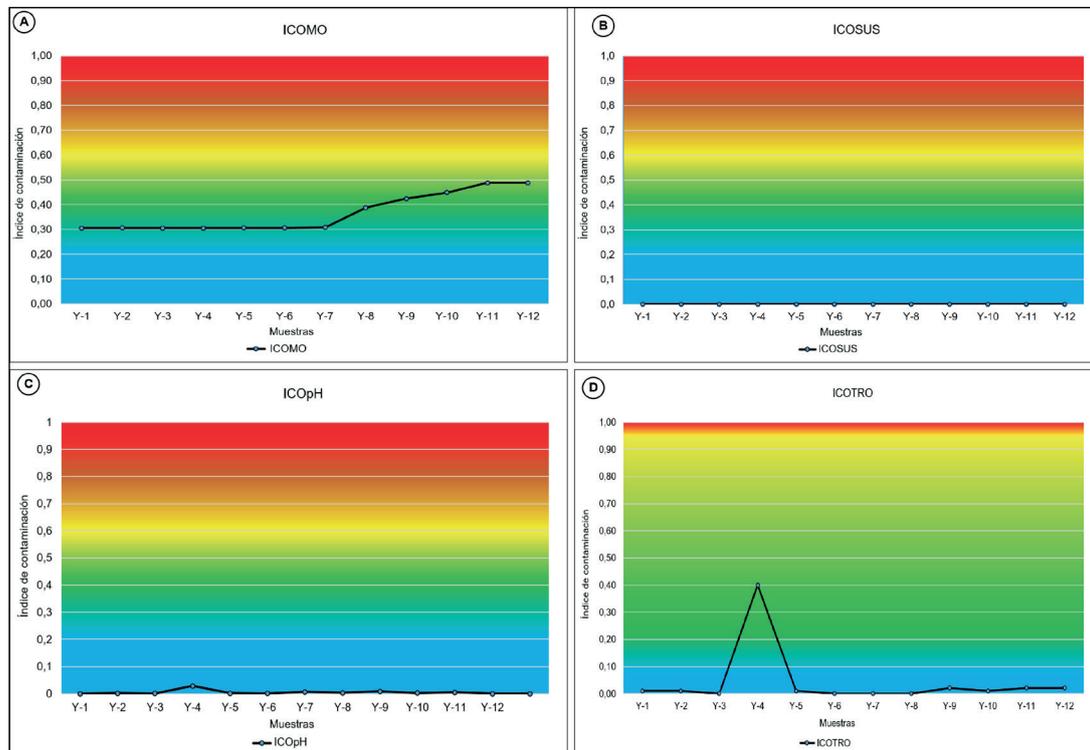
Al analizar el índice de contaminación por pH (ICOPH), las 12 muestras estudiadas se clasifican como aguas sin ningún grado de contaminación (Figura 6C).

Los valores de pH en las muestras analizadas varían entre 6,53 y 7,98 unidades de pH.

El cálculo del índice de contaminación por Trofia (ICOTRO) reveló que 4 muestras se clasifican como mesotróficas (Y-1, Y-2, Y-5 y Y-10), debido a que presentan valores de fósforo total entre 0,01 y 0,02 mg/L. Las muestras Y-3, Y-6, Y-7 y Y-8 se clasifican como oligotróficas, ya que muestran valores de fósforo total inferiores a 0,01 mg/L. Por otro lado, las muestras Y-4, Y-9, Y-11 y Y-12 se clasifican como eutróficas, al presentar valores de fósforo total entre 0,02 y 1,00 mg/L (Figura 6D). El comportamiento del fósforo total a lo largo de la cuenca varía entre 0,00 y 0,40 mg/L. El valor del ICOTRO en el punto de muestreo Y-4 se ve influenciado principalmente por el uso de fertilizantes, la deforestación y la erosión, ya que los escurrimientos arrastran la capa fértil del suelo, llevándose consigo los nutrientes, como sucede en el río Yamanigüey. Investigaciones previas (Dunán-Ávila et al., 2020) indican la presencia de residuos forestales en las aguas del río, lo que contribuye a su degradación y a la liberación de nitrógeno y otros nutrientes que antes estaban presentes en las plantas. El exceso de nutrientes favorece un crecimiento abundante de plantas y otros organismos en las aguas del río. Durante su desarrollo y descomposición, estos organismos contribuyen en gran medida a la acumulación de materia orgánica en el cauce del río.

Figura 6

Resultados del índice de contaminación por: A) Materia orgánica (ICOMO), B) Sólidos suspendidos (ICOSUS), C) pH (ICOpH), D) Trofia (ICOTRO)



IV. CONCLUSIONES

- Las propiedades fisicoquímicas y bacteriológicas de las aguas del río Yamanigüey, para los parámetros evaluados según las Normas Cubanas (NC 827, 2017; NC 1021, 2014) y la Norma de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011), presentan valores que se encuentran tanto por debajo como por encima de los límites máximos y mínimos admisibles.
- Las aguas del río Yamanigüey muestran diferentes grados de contaminación según los índices de evaluación. De acuerdo con el Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO), se clasifican como aguas con bajo y medio grado de contaminación. Sin embargo, según el Índice de Contaminación por Sólidos Suspendidos (ICOSUS) y el Índice de Contaminación por pH (ICOpH), se consideran no contaminadas. En cuanto al Índice de Contaminación por Trofia (ICOTRO), se clasifican como mesotróficas, oligotróficas y eutróficas.
- Se recomienda realizar un estudio detallado del amoníaco y del fósforo total en las aguas del río Yamanigüey.

V. REFERENCIAS

- APHA (2017). *Standard methods for the examination for water and wastewater, 23rd edition*. Washington, DC. (2017). American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Disponible en: https://www.academia.edu/105197442/Standard_Methods_For_the_Examination_23th_edition
- Atherholt, T., Feerst, E., Hovendon, B., Kwak, J., & Rosen, J. D. (2003). Evaluation of indicators of fecal contamination in groundwater. *Journal-American Water Works Association, 95(10)*, 119–131. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2003.tb10479.x>
- Carr, G. M., & Neary, J. P. (2008). *Water quality for ecosystem and human health*. UNEP/Earthprint. Disponible en: <https://www.cbd.int/doc/health/health-waterquality-en.pdf>
- Chavarro, A. G., & Gelvez Bernal, E. J. (2016). Caracterización de la calidad de las aguas de la quebrada Fucha utilizando los índices de contaminación ICO con respecto a la precipitación y usos del suelo. *Revista Mutis, 6(2)*, 19–31. Disponible en: <https://doi.org/10.21789/22561498.1148>
- Cheng, H., Hu, Y., & Zhao, J. (2009). Meeting China's water shortage crisis: current practices and challenges. *Environmental Science & Technology*. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/es801934a>

- Coello, J., Ormaza, R., Déley, Ángel, Recalde, C., & Rios, A. (2013). Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoché, Pichahuíña y Pomacochoparque Nacional Sangay-Ecuador. *Revista Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas*, 16(31). Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11281>
- Crespo Lambert, M. (2018). *Evaluación de la calidad de las aguas de abastecimiento del poblado Yamanigüey*. [Tesis de grado]. Universidad de Moa, Cuba. Disponible en: <http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/1506>
- Dunán-Avila, P. L. (2019). *Evaluación de la calidad de las aguas superficiales del río Yamanigüey mediante el Índice de Calidad de Agua ICA-NSF*. [Tesis de grado]. Universidad de Moa, Cuba. Disponible en: <http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/3699>
- Dunán Avila, P. L., Fernández Rodríguez, M., Riverón Zaldívar, A. B., & Bassas Noa, P. R. (2021). Evaluación del contenido de metales pesados en las aguas del Río Yamanigüey. *Revista Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas*, 24(48), 315-321. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/19444>
- Dunán-Avila, Pedro Luis, Fernández-Rodríguez, Moraima, Riverón-Zaldívar, Amalia Beatriz, & Bassas-Noa, Pedro Rafael. (2022). Evaluación preliminar de la calidad de las aguas del río Yamanigüey para el riego agrícola. *Minería y Geología*, 38(1), 83-98. Epub 31 de marzo de 2022. Recuperado en 27 de agosto de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1993-80122022000100083&lng=es&tlng=es
- Dunán-Ávila, P.L., Riverón-Zaldívar, A. B., Fernández-Rodríguez, M., Fuentes-Londres, Y., & Marrero-Doimeadios, L. (2020). Evaluación de los procesos erosivos, la materia sedimentable y el caudal en la cuenca del río Yamanigüey. *Ciencia & Futuro*, 10(2), 19-37. Disponible en: <https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistacyf/article/view/1923>
- Estremadoyro Martínez, M. G., & Zeballos Zeballos, C. R. (2022). *Evaluación de los índices de contaminación del agua del río Tarma-Junín-2021*. [Tesis de grado]. Universidad César Vallejo, Perú. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/109403>
- Fernández-Rodríguez, M., & Guardado-Lacaba, R. M., (2021). Evaluación del Índice de Calidad del Agua (ICAsup) en el río Cabaña, Moa-Cuba. *Minería y Geología*, 37(1), 105-119. Epub 31 de marzo de 2021. Recuperado en 27 de agosto de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1993-80122021000100105&lng=es&tlng=es
- IGP, 2011. Hoja cartográfica Moa (5277).
- Jayo Cuellar, Z. (2022). *Evaluación de la contaminación del río Muyurina empleando el método de los índices de contaminación (ICO), Ayacucho 2018-2019*. [Tesis de grado]. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú. Disponible en: <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/5780>
- León, L.F., (1991). Índice de calidad del agua, ICA, Inf. # Sh-9101/01. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México, 36 pp.
- Liu, X. H., Zheng, H., Zhong, L., Huang, S., Karki, K., Zhang, L. Q., Liu, Y., Kushima, A., Liang, W. T., Wang, J. W., & others. (2011). Anisotropic swelling and fracture of silicon nanowires during lithiation. *Nano Letters*, 11(8), 3312-3318. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/nl201684d>
- Lucas Vidal, L. R., & Carreño Mendoza, Á. L. (2018). Calidad de agua de consumo humano en las comunidades balsa en medio, Julián y Severino de la microcuenca Carrizal, Ecuador. *Revista Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas*, 21(42), 39-46. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/15785>
- NC 23. (1999). *Franjas forestales de las zonas de protección a embalses y cauces fluviales*. Oficina Nacional de Normalización (NC), La Habana, Cuba, 8 pp.
- NC 1021. (2014). *Higiene comunal — fuentes de abastecimiento de agua — calidad y protección sanitaria*. Oficina Nacional de Normalización (NC), La Habana, Cuba, 14 pp.
- NC 827. (2017). *Agua potable - requisitos sanitarios*. Oficina Nacional de Normalización (NC), La Habana, Cuba, 13 pp.
- OMS. (2011). *Guías para la calidad del agua de consumo humano*. Cuarta edición. Incorpora la primera adenda. Organización Mundial de la Salud, 4, 608. Disponible en: <https://emergencymanual.iom.int/sites/g/files/tmzbd11956/files/2022-11/9789243549958-spa.pdf>
- Ramírez, Restrepo, R., & Cardeñosa, M., (1999). Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos. *Formulaciones. CT&F-Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(5), 89-99. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831999000100008&lng=en&nrm=iso
- Ramírez, A., Restrepo, R., & Viña, G., (1997). Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. *Formulaciones y aplicación. CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, 1(3), 135-153. Recuperado August 27, 2024. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831997000100009&lng=en&tlng=es
- Rodríguez Hechavarría, Y. (2019). *Evaluación de la calidad del agua de abastecimiento en los asentamientos rurales Cañete y Cupey mediante el Índice de Calidad de Agua CCME_WQI*. [Tesis de grado]. Universidad de Moa, Cuba. Disponible en: <http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/3707>
- Veloz Mayorga, N. C., & Carbonel H., C. A. A., (2018). Evaluación de la calidad del agua de la microcuenca del río Chibunga-Ecuador en variaciones estacionales, periodo 2013- 2017. *Revista Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas*, 21(42), 13-26. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/15784>
- Viltres Milán, Y. (2010). *Evaluación de riesgos por deslizamiento en taludes y laderas del sector este del municipio Moa*. [Tesis de master]. Universidad de Moa, Cuba. Disponible en: <http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/1353>

Contribución de autoría

Conceptualización: Pedro Dunán-Avila, Moraima Fernández-Rodríguez; Curación de datos: Pedro Dunán-Avila, Moraima Fernández-Rodríguez; Análisis formal: Pedro Dunán-Avila, Moraima Fernández-Rodríguez; Adquisición de fondos: Moraima Fernández-Rodríguez, Pedro Rafael Bassas-Noa; Investigación: Pedro Dunán-Avila, Moraima Fernández-Rodríguez, Amalia Beatriz Riverón-Zaldívar; Metodología: Pedro Dunán-Avila, Moraima Fernández-Rodríguez, Amalia Beatriz Riverón-Zaldívar, Pedro Rafael Bassas-Noa; Administración del proyecto: Pedro Dunán-Avila, Moraima Fernández-Rodríguez; Recursos: (Moraima Fernández-Rodríguez, Amalia Beatriz Riverón-Zaldívar, Pedro Rafael Bassas-Noa; Software: Pedro Dunán-Avila; Supervisión: Moraima Fernández-Rodríguez, Amalia Beatriz Riverón-Zaldívar, Pedro Rafael Bassas-Noa; Validación: Pedro Dunán-Avila, Moraima Fernández-Rodríguez, Amalia Beatriz Riverón-Zaldívar, Pedro Rafael Bassas-Noa; Visualización: Pedro Dunán-Avila, Moraima Fernández-Rodríguez, Amalia Beatriz Riverón-Zaldívar, Pedro Rafael Bassas-Noa; Redacción - borrador original: Pedro Dunán-Avila; Redacción - revisión y edición: Pedro Dunán-Avila, Moraima Fernández-Rodríguez, Amalia Beatriz Riverón-Zaldívar, Pedro Rafael Bassas-Noa.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.