

## Evaluación del Índice de Calidad del Agua (ICAsup) en el río Cabaña, Moa-Cuba

### Evaluation of Water Quality Index in Cabaña River, Moa-Cuba

Moraima Fernández-Rodríguez<sup>1\*</sup>, Rafael Miguel Guardado-Lacaba<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Moa, Cuba.

\*Autor para la correspondencia: [mfernandez@ismm.edu.cu](mailto:mfernandez@ismm.edu.cu)

#### Resumen

La calidad de las aguas superficiales es generalmente afectada por las descargas de residuales domésticos e industriales que alteran sus propiedades físicas, químicas y bacteriológicas volviéndolas no aptas para el consumo. Este trabajo tuvo el propósito de evaluar la calidad del agua del río Cabaña (Moa, Holguín) mediante la aplicación del Índice de Calidad del Agua superficial (ICAsup) propuesto por Montoya y Contreras. Para analizar la composición físico-química y bacteriológica del agua, se tomaron muestras en 20 puntos de muestreo durante los años 2017 y 2018, en época de lluvia y época de seca. Se calculó un ICA para cada punto y fecha de muestreo. Los resultados demuestran que la calidad del agua disminuye en el mismo sentido en que el río recorre su trayectoria desde la zona alta hasta la zona baja de la subcuenca. Se comprueba, además, que gran parte de la carga contaminante del río proviene de residuales industriales, desechos domésticos y descargas de albañales, que por su magnitud provocan la disminución de la capacidad de autodepuración del río.

**Palabras clave:** calidad del agua; agua superficial; contaminación de cursos fluviales; residuales contaminantes; río Cabaña.

#### Abstract

Quality of surface waters is generally affected by discharges of domestic and industrial waste that alter their physical, chemical and bacteriological properties, rendering them unfit for consumption. The purpose of this study is to evaluate the water quality of Cabaña River (Moa, Holguín) by applying

the Surface Water Quality Index proposed by Montoya and Contreras. For analyzing the physical-chemical and bacteriological compositions of water, 20 sampling sites were selected in 2017-2018 stage in two moments: rainy and dry seasons. A water quality index was calculated for each site and sampling date. It was found the water quality decreases as the river travels the path of its channel from the upper zone to the lower zone of the sub-basin. Results show that quality of water decreases in the same sense that river travels its path from the upper zone to the lower zone of the sub-basin. It was determined that a large part of the river's pollutant load comes from industrial and domestic waste and sewer discharges, which cause a decrease in the river's self-purification capacity due to their magnitude.

**Keywords:** water quality; superficial water; pollution of river courses; residual pollutants; Cabaña River.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

El agua constituye un elemento natural indispensable para el desarrollo de la vida y de las actividades humanas. La valoración de la calidad del agua puede entenderse como la evaluación de su naturaleza química, física y biológica en relación con su calidad natural, los efectos humanos y usos posibles.

En la naturaleza la calidad del agua afecta la condición de los ecosistemas alterando la existencia de los seres vivos; sin embargo, el hombre para eliminar residuales domésticos, industriales y agrícolas utiliza como medios convenientes los cuerpos de agua, los que resultan finalmente degradados.

Toda gestión de los recursos hídricos involucra el control y la calidad del agua; esta última se determina a partir del conjunto de características físicas, químicas y biológicas que hacen que el agua sea apropiada para un uso determinado.

Como consecuencia del desarrollo económico y social de los territorios, la calidad del agua recibe impactos negativos; por ejemplo, el empleo de químicos en la agricultura, el mal uso de los suelos y el vertimiento de sustancias químicas contaminantes a ríos y arroyos. Actualmente, los cuerpos de agua superficiales, en su gran mayoría, presentan una alteración en su calidad misma (Thi 2011; Pedraza 2016) por las descargas que reciben de las actividades domésticas e industriales, que influyen de alguna manera en la salud humana y en aspectos socioeconómicos de las poblaciones adyacentes (Flores 2013).

Bicera (2014) plantea que la contaminación del agua puede ser considerada como la modificación de sus propiedades físico-químicas y biológicas, que restringe su uso y aplicaciones donde habitualmente es utilizada. Se entiende entonces que el agua contaminada es aquella afectada por la acción del hombre en una magnitud por encima de sus variaciones naturales, que sobrepasa los valores permisibles máximos de las concentraciones establecidas por los estándares para el agua potable, de uso industrial o de uso agrícola (Fernández-Rodríguez 2016; Fernández-Rodríguez *et al.* 2018).

De aquí la importancia de evaluar la calidad del agua superficial mediante la implementación de nuevas metodologías que involucren más de dos parámetros. Estas metodologías incluyen varios parámetros, en su mayoría físicoquímicos, y en algunos casos microbiológicos, de manera que permiten reducir la información a una expresión sencilla, conocida como: Índice de Calidad del Agua (ICA)

Un ICA expresa en una cifra la calidad del recurso hídrico mediante la integración de las mediciones de determinados parámetros de calidad del agua (Samboni, Carvajal y Escobar 2017); constituye una de las mejores herramientas para calcular el potencial de contaminación de manera comprensiva; además, puede utilizarse para clasificar la calidad del agua de una forma fácil de entender para todo criterio científico de calidad del agua.

Los ICA son un componente importante del manejo global integrado de los recursos hídricos (Lekshmiprasad y Mophin 2017); estos formulan una manera conveniente de resumir la gran cantidad de datos generados en los monitoreos y facilita la comunicación de los resultados a una audiencia no especializada (Valcárcel, Alberro y Frías 2009). Estos índices -ICA- pueden ser usados para mejorar o aumentar y difundir la información sobre la calidad del agua. Los posibles usos están enmarcados en el manejo del recurso, al permitir un mejor nivel de decisión por parte de las autoridades; en la clasificación de áreas y establecimiento de zonas de susceptibilidad o vulnerabilidad, y dentro de la investigación científica para la implementación de acciones correctivas, entre otras (García-Fernández y Gutiérrez-Díaz 2015).

Varios países basan sus estudios de calidad en el empleo de los ICA. Cayax (2017) caracteriza la variación espacial y temporal de parámetros de calidad del agua y determina la influencia del uso de la tierra sobre esta en el cauce del río Platanitos, Guatemala. A través del uso de herramientas de información geográfica y la aplicación de índice de calidad de agua, los resultados revelan una variación gradual desde la parte alta, media y baja, indicando mala calidad del agua para consumo humano.

Quiroz-Fernández, Izquierdo-Kulich y Menendez-Gutierrez (2017) evalúan la calidad del agua del río Portoviejo (Manabí, Ecuador) mediante la aplicación de índices integradores. Sus resultados muestran que la calidad del agua disminuye a medida que el río recorre la trayectoria de su cauce debido a la carga contaminante que este recibe.

Por su parte, Rodríguez-Miranda, Serna-Mosquera y Sánchez-Céspedes (2016) proponen, como herramienta para el desarrollo sustentable, un índice en cuerpos de aguas superficiales de la ciudad de Bogotá, el cual denominan Índice de Calidad de Agua Universidad Distrital Francisco José de Caldas (ICA-UDFJC), mediante la agregación de parámetros fisicoquímicos. Sin embargo, este índice que puede ser usado para evaluar cualquier tipo de agua, no incorpora los coliformes como uno de sus parámetros, los cuales juegan un papel decisivo en la calidad del agua.

En la cuenca Cabaña-Moa durante los años 2017-2018 se llevó a cabo un programa de muestreo de las aguas superficiales para su estudio mediante la aplicación de varios índices. Este artículo es resultado de ese programa y tuvo el propósito de evaluar el Índice de Calidad del Agua superficial (ICAsup) mediante la metodología de Montoya y Contreras (1997), la cual permite evaluar varios parámetros y clasificar el agua según diferentes usos.

El ICAsup fue utilizado como una herramienta de indicación para caracterizar y hacer un diagnóstico general de la situación ecológica y ambiental de las aguas del río Cabaña. Así, el agua totalmente contaminada tendrá un índice de calidad cercano o igual a 0 mientras será de 100 para aguas de condiciones óptimas. Por lo tanto, el índice es un valor promedio del efecto que causan los diferentes niveles de cada una de las variables medidas en un cuerpo de agua.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

La zona de estudio se circunscribe a la subcuenca del río Cabaña, afluente del río Moa, e importante curso fluvial del territorio de igual nombre en el este de la provincia de Holguín. Representa el 15,7 % del área total de la cuenca Moa, con un área de drenaje de 19,4 km<sup>2</sup> y una pendiente promedio de 15,4 % (Figura 1).

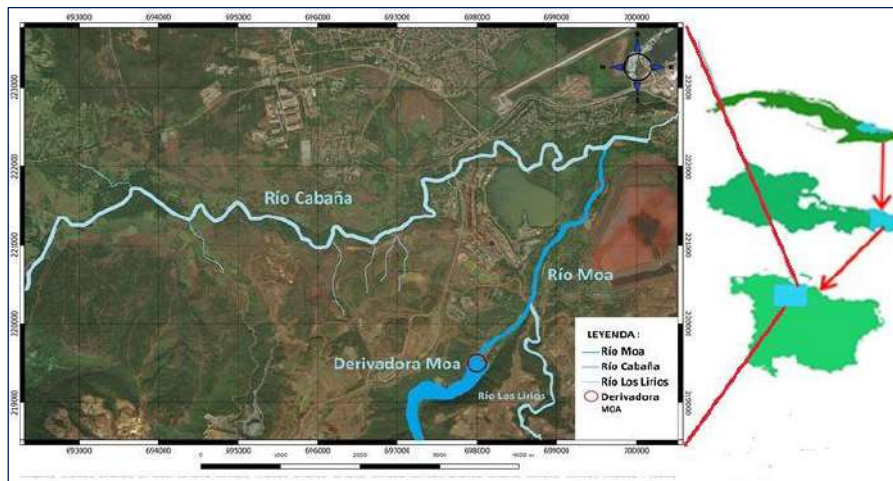


Figura 1. Imagen satelital de la subcuenca del río Cabaña.

Se establecieron 20 puntos de muestreo, ubicados a lo largo de 17,5 km de recorrido del río Cabaña y considerando el aporte de los principales afluentes y otras descargas directas a sus aguas (Figura 2). El muestreo cubrió desde el año 2017 hasta el 2018 para época de lluvia y época de seca.



Figura 2. Ubicación de los puntos de muestreo.

El procesamiento y determinación de las propiedades físico-químicas y bacteriológicas de las muestras se realizó en el laboratorio químico de la Unidad Básica de Servicios Planta Potabilizadora de Agua de la empresa niquelera Comandante Ernesto Che Guevara (ECG) y en el Centro de Investigaciones del Níquel (CEDINIQ) del municipio.

Para la medición de los parámetros que conforman el ICAsup se emplearon las técnicas establecidas en el *Standard Methods for the Examination of Water*

and Wastewater (APHA AWWA WEF 2012). Se realizaron análisis de estadística multivariada.

Para establecer los límites máximos y mínimos admisibles de la calidad de las aguas se utilizaron las normas de Higiene Comunal-fuente de Abastecimiento de Agua -Calidad (NC 1021:2014) y Protección Sanitaria (NC 827:2017)-, y la Norma de la Organización Mundial de la Salud (OMS 2017).

Con los resultados obtenidos del ICAsup en los dos años evaluados se realizaron los mapas de la subcuenca Cabaña para época de lluvia y época de seca.

### 2.1. Evaluación del ICAsup

Se aplicó la metodología propuesta por Montoya y Contreras (1997) para el cálculo del ICAsup; este índice está constituido por 18 variables clasificadas dentro de cuatro categorías:

1. Cantidad de materia orgánica: determinadas por el porcentaje de saturación del oxígeno disuelto (OD) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>).
2. Materia bacteriológica: coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF).
3. Características físicas: el color y la turbidez (TUR).
4. Características químicas: materia orgánica, alcalinidad (ALC), dureza (DT), cloruros (Cl<sup>-</sup>), conductividad específica (CON), concentración de iones hidrógeno (pH), grasas y aceites (G y A), sólidos suspendidos (SS), sólidos totales disueltos (STD), nutrientes: nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), nitrógeno amoniacal (NH<sub>3</sub><sup>+</sup>), fosfatos (PO<sub>4</sub><sup>=</sup>) y detergentes.

Debido a que ciertas pruebas son más representativas de la calidad de agua que otras, se asignan ciertos pesos específicos a las variables designadas, representados por W; estos pesos específicos están de acuerdo con la naturaleza del cuerpo de agua en estudio. La ecuación 1 expresa el índice de Montoya y Contreras (1997):

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^n (I_i * W_i)}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (1)$$

Donde:

**ICA:** índice de calidad del agua,  $0 \leq I \leq 100$

**Ii:** función subíndice del parámetro i,  $0 \leq I \leq 100$

**Wi:** peso de importancia del parámetro (factor de ponderación)  $i$ ,  $0 \leq W_i \leq 5$

**n** = número de variables.

Las ecuaciones funcionales subíndices para cada una de las variables empleadas en el cálculo del índice, se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1. Funciones de los subíndices del ICAsup según Montoya y Contreras 1997

Parámetros	Ecuaciones Funcionales	W
DBO	$120*(DBO)^{(0,673)}$	5
CT	$97,5*(5*Colf.Totales)^{0,27}$	3
CF	$97,5*(5*Colf.Fecales)^{0,27}$	4
Conductividad	$540*(Cond)^{-(0,379)}$	1
Cloruro	$Clor^{0,223}$	0,5
Dureza total	$(10)^{(1,974-(0,00174*Dureza)}$	1
Alcalinidad	$105*(Alcalinidad)^{-0,185}$	0,5
pH	$I_{pH} 10^{0,2335*pH+0,44}$ $pH < 6,7$	1
SS	$266,5*(SS)^{-0,37}$	1
SD	$109,1-(0,0175*(SD))$	0,5
Nitratos	$45,8 (Nitratos)^{0,343}$	2
Color Pt/Co	$123*(Color)^{-0,295}$	1
Turbidez	$108*(Turb)^{-0,178}$	0,5

Fuente: Chilingua-Quinapanta y Donoso-Cruz (2012).

En dependencia de los valores calculados del ICAsup se define el posible empleo, según sea la clasificación del agua: no contaminada, aceptable, poco contaminada, contaminada o altamente contaminada y a cada criterio corresponde un determinado color, como aparece en la Tabla 2.

Tabla 2. Criterio general de calidad de las aguas según ICAsup de Montoya y Contreras 1997

ICA	Criterio general
85-100	No Contaminado
70-84	Aceptable
50-69	Poco Contaminado
30-49	Contaminado
0-29	Altamente Contaminado

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Calidad de las aguas del río Cabaña

Los resultados revelaron que, según los valores del ICAsup, las aguas del río Cabaña en época de lluvia no están contaminadas en la primera porción del curso fluvial, y que permanecen aceptables o poco contaminadas hasta su parte media, observándose una ligera variación de la calidad entre las épocas de lluvia y de seca. Por el contrario, en la parte baja del río, el ICAsup delata aguas contaminadas y altamente contaminadas en ambas épocas (Tabla 3, Figura 3).

Tabla 3. Valores del ICAsup por punto de muestreo en el periodo 2017-2018

No	Punto de muestreo	Zona	ICAsup Lluvia	Clasificación Lluvia	ICAsup Seca	Clasificación Seca
1	CA1	Alta	96	No contaminada	66	Poco contaminada
2	CA2	Alta	80	Aceptable	56	Poco contaminada
3	CA3	Alta	81	Aceptable	82	Aceptable
4	CA4	Alta	81	Aceptable	78	Aceptable
5	CA5	Alta	77	Aceptable	79	Aceptable
6	CA6	Alta	77	Aceptable	74	Aceptable
7	CA7	Alta	56	Poco contaminada	60	Poco contaminada
8	A1	Media	80	Aceptable	58	Poco contaminada
9	CA8	Media	79	Aceptable	82	Aceptable
10	A2	Media	80	Aceptable	83	Aceptable
11	CA9	Media	81	Aceptable	82	Aceptable
12	CA10	Media	67	Poco contaminada	83	Aceptable
13	A3	Media	68	Poco contaminada	83	Aceptable
14	A4	Media	68	Poco contaminada	75	Aceptable
15	A5	Media	68	Poco contaminada	66	Poco contaminada
16	CA11	Media	67	Poco contaminada	66	Poco contaminada
17	CA12	Media	64	Poco contaminada	72	Aceptable
18	CA13	Baja	14	Altamente contaminada	2	Altamente contaminada



19	CA14	Baja	14	Altamente contaminada	14	Altamente contaminada
20	CA15	Baja	35	Contaminada	13	Altamente contaminada

Los puntos de muestreo desde CA1 hasta CA9 por su menor grado de antropización tienen una calidad aceptable y están poco contaminadas. Hay zonas de agua no contaminada (parte media del sistema hídrico, periodos de seca), y otros sectores contaminados y altamente contaminados, como es la parte baja de la cuenca hasta próximo a la desembocadura (Figura 3).

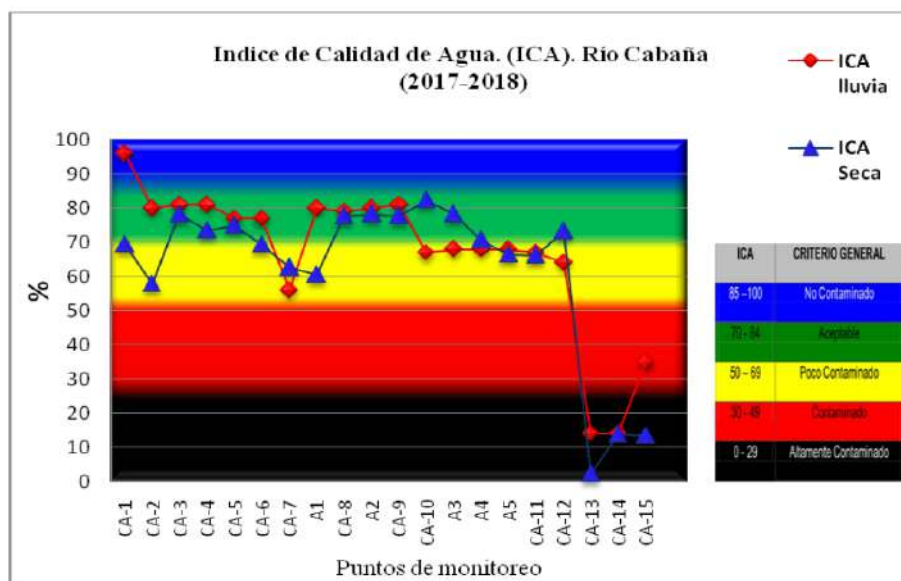


Figura 3. Representación del ICAsup del rio Cabaña en periodos de lluvia y de seca.

La Figura 3 refleja el comportamiento relativamente estable en la calidad del agua desde los puntos muestrales CA1 hasta CA12 y cómo en el punto CA13 decrece abruptamente la curva, coincidiendo con la descarga de los residuales ácidos, punto a partir del cual las aguas se tornan altamente contaminadas.

En periodo de lluvias al existir un mayor arrastre de sólidos suspendidos, las aguas de escorrentias llegan al río cargadas de lixiviados y compuestos de diferentes composición, lo que provoca aumento de la concentración de elementos químicos y variación en el índice de calidad del agua (Figuras 4 y 5).



Figura 4. Representación de la calidad del agua del río Cabaña según ICAsup para época de seca.



Figura 5. Representación de la calidad del agua del río Cabaña según ICAsup para época de lluvia.

En cada país la política ambiental está ligada a la conservación de los recursos hídricos, para lo cual los ICA proporcionan valiosa información para la toma de decisiones, así como para generar planes de contingencia para la recuperación de las fuentes de agua (si se encuentran contaminadas) o para su conservación (Rodríguez-Miranda, Serna-Mosquera y Sánchez-Céspedes 2016).

De acuerdo con los resultados del análisis estadístico (Tabla 4), la media de los valores del ICAsup es menor en la parte baja de la cuenca, con mínimo de 2 en época de seca y 14 en periodo de lluvia, siendo esta la zona más contaminada y donde la capacidad de autodepuración de la cuenca está

disminuida. Los estadísticos tabulados de posición, de variación y de forma corroboran este comportamiento.

Tabla 4. Comportamiento estadístico deL ICAsup en el río Cabaña

Variables estadísticas	Río Cabaña (ICA)					
	Parte alta		Parte media		Parte baja	
	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca	Lluvia	Seca
<b>N</b>	7	7	10	10	3	3
<b>Min</b>	60	61	64	61	14	2
<b>Max</b>	96	85	85	83	35	14
<b>Media</b>	79,75	75,71	73,7	76,9	33,75	25
<b>Desv. Estandar</b>	10,258	9,641	8,7438	9,700	27,35	21,13
<b>Mediana</b>	81	78	68	80	24,5	13,5
<b>Kurtosis</b>	-0,50	-1,79	-1,99	-1,607	-1,90	-1,72

### 3.2. Evaluación de las aguas del río Cabaña según sus posibles usos

En la actualidad las aguas del río Cabaña son aprovechadas para diferentes fines como pecuaria, agricultura entre otros usos domésticos particulares. La parte alta de la cuenca es la zona ideal para realizar captaciones directamente para consumo humano, mediante represamientos para posterior transporte y tratamiento; a nivel rural es menos sofisticado el tratamiento y en la actualidad en poblados cercanos a la zona alta de la microcuenca el agua es aprovechada directamente del río.

La influencia antrópica determina la composición fisicoquímica y bacteriológica en varios puntos de muestreo. La calidad del agua en la parte baja de la cuenca está alterada; en los puntos CA13, CA14 y CA15 las aguas están clasificadas como altamente contaminadas, no se consideran aptas para su uso por su gran salinización y alcalinización, un pH muy ácido, alta turbidez y elevados contenidos de sólidos totales disueltos, además de la gran carga contaminante.

Atendiendo al criterio general de clasificación para diferentes usos (Montoya y Conteras 1997) las aguas del río Cabaña pueden ser utilizadas hasta el punto CA12 con ligero tratamiento para consumo humano e industrial, y en la agricultura de manera general, aunque en algunos sectores no se recomiendan para el riego de verduras y hortalizas. Sin embargo, a partir del punto CA13 las aguas no son aptas para ningún uso.

### 3.3. Evaluación de las fuentes contaminantes

Las aguas naturales, bien sean superficiales o subterráneas, presentan unas características determinadas que han sido compatibles con la vida vegetal y animal a lo largo de los siglos. La progresiva contaminación debida a la industria, a la agricultura o a las aglomeraciones urbanas, cambia sustancialmente las propiedades del agua y demanda un nivel de exigencia cada vez mayor en los sistemas de control. Las actividades humanas causan múltiples y complejos cambios en la composición química del agua natural debido al aporte de contaminantes a los sistemas hídricos (Li *et al.* 2009; Kurissery *et al.* 2012; Torres *et al.* 2013).

Las filtraciones, los vertidos y la contaminación atmosférica (la lluvia ácida, por ejemplo) han originado que, en muchos casos, esté afectada la calidad natural del agua por diferentes factores, lo que ha motivado la necesidad de utilizar parámetros de control. Estos parámetros dependen de la procedencia del agua y de su uso (vertidos, consumo humano, uso industrial, entre otros).

La degradación de las aguas a partir de la parte media y baja de la cuenca se debe, principalmente, a la ubicación de gran parte de las zonas de minería y a la urbanización (Cayo Chiquito, Centeno, reparto Armando Mestre, Cabaña, Rolo Monterrey) del territorio de Moa.

La actividad predominante dentro de la cuenca es la minería a cielo abierto. Esto representa una probable contaminación, generada por la deforestación de extensas áreas, lo que provoca que las precipitaciones arrastren sólidos en suspensión y lixiviados de desechos sólidos depositados en las zonas aledañas, lo cual altera las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas, y algunos elementos que son disueltos, por la propiedad disolvente que tiene esta.

Respecto a las fuentes de contaminación del curso de agua superficial se ha obtenido que, tanto la actividad minera como las descargas de aguas residuales ácidas procedentes de la industria, son los dos factores principales que generan la alteración de la calidad del agua del río Cabaña.

Las aguas residuales ácidas con presencia de elementos metálicos constituyen una contaminación puntual, aportan concentraciones de metales y ácidos que cambian por completo la composición físico-química de las aguas, convirtiéndolas en aguas muy ácidas y contaminadas.

El agua residual de la planta de preparación de sulfuros de la fábrica de lixiviación ácida (WL) constituye uno de los residuos más estudiados por la gran cantidad de metales que contiene y por su acidez. De acuerdo con

Terrero-Abella (1995) y Rodríguez-Pacheco (2002) el volumen del residuo WL que se vierte diariamente al río oscila alrededor de 12 000 m<sup>3</sup>/día, lo que provoca daños ecológicos de gran magnitud; en él están presentes concentraciones de níquel (Ni), aluminio (Al), cromo (Cr), cobalto (Co), hierro (Fe), manganeso (Mn) y otros compuestos.

#### 4. CONCLUSIONES

- Atendiendo a los valores obtenidos del ICAsup, la calidad del agua en la parte alta del río Cabaña califica como aceptable en períodos de lluvia (ICAsup=77) y poco contaminada en época de seca (ICAsup=96); mientras que en la parte baja permanece altamente contaminada durante las lluvias (ICAsup entre 2 y 14) y contaminada en la época de seca (ICAsup entre 14 y 35).
- Las aguas evaluadas tienen alteradas sus propiedades físico-químicas, especialmente el pH, la conductividad, aniones y cationes, y metales como níquel (Ni), cobalto (Co), hierro (Fe), cobre (Cu), cromo hexavalente (Cr<sup>6+</sup>) y cromo total (Cr<sub>total</sub>); por su condición bacteriológica, con contenidos de coliformes totales y fecales, quedan fuera de los estándares de calidad permisibles.
- La calidad del agua del río Cabaña es degradada, fundamentalmente, por tres factores: la actividad minera, las descargas de aguas albañales urbanas e industriales y los residuales ácidos procedentes de la industria minero- metalúrgica

#### 5. REFERENCIAS

- APHA AWWA WEF. 2012: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22st Ed. Washington: American Public Health Association. Consultado: 2015/05/02. Disponible en: <https://www.standardmethods.org/>.
- Bicera, C. 2014: *Evaluación de la calidad de las aguas del río Cayo Guam e impacto ambiental en el municipio Moa*. Fernández Rodríguez, M. (tutor). Tesis de Maestría. Universidad de Moa, Cuba. <http://repositorio.ismm.edu.cu./Cristian.pdf>.
- Cayax, M. Á. M. 2017: Uso de la tierra y calidad del agua superficial en la cuenca periurbana río Platanitos, Guatemala. *Revista Ingeniería Agrícola*, 4(4): 19-23.
- Chiliquinga-Quinapanta, C. A. y Donoso-Cruz, H. E. 2012: *Caracterización de la calidad de agua de la microcuenca del río Pachanlica de la provincia de Tungurahua tomando como base la metodología ICA de Montoya*. S.l.: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

- Fernández-Rodríguez, M. 2016: Vulnerabilidad a la contaminación de las aguas del río Cabaña en la zona minera de Moa. Cuba. En: II Simposio Internacional del Agua en Áreas Protegidas. Topes de Collantes, Cuba.
- Fernández-Rodríguez, M.; Nfundiko-Christian, B.; Guardado-Lacaba, R. y Almaguer-Carmenate, Y. 2018: Evaluación hidroquímica de las aguas del río Cayo Guam, Moa, Cuba. *Minería y Geología*, 34(3): 268–288.
- Flores, J. 2013: Propuesta de índice de calidad de agua residual utilizando un modelo aritmético ponderado. *Interciencia*, 38(2): 145-149.
- García-Fernández, J. M. y Gutiérrez-Díaz, J. B. 2015: Un índice para evaluar la calidad de los recursos hídricos superficiales en cuencas hidrográficas (ICAsp 2014). *Voluntad Hidráulica*, 113. ISSN 0505-9461.
- Kurissery, S.; Kanavillil, N.; Verenitchb, S. y Mazumderb, A. 2012: Caffeine as an anthropogenic marker of domestic waste: A study from Lake Simcoe watershed. *Ecol. Indic.*, 23: 501–508.
- Lekshmi Prasad, S. y Mophin, K. 2017. Water Quality Assessment of Ashtamudi Lake Using Nsfwqi. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 7(1). Disponible en: <http://www.ijetae.com>
- Montoya, H.; Contreras, C. y García, V. 1997: Estudio Integral de la Calidad del Agua en el estado de Jalisco. Guadalajara. Comisión Nacional del Agua. p. 106.
- Norma Cubana 1021: 2014: Higiene Comunal en fuentes de abastecimiento de agua. Calidad y protección sanitaria. La Habana: Oficina Nacional de Normalización.
- Norma Cubana 827: 2017: Agua potable, requisitos sanitarios. La Habana: Oficina Nacional de Normalización.
- Li, S.; Xu, Z.; Wang, H.; Wang, J. y Zhang, Q. 2009: Geochemistry of the upper Han River basin, China. 3: Anthropogenic inputs and chemical weathering to the dissolved load. *Chem. Geol.*, 264: 89-95.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2017: *Guías para la calidad del agua de consumo humano*. 4ta ed. 564 p. ISBN: 978-92-4-354995-8.
- Pedraza, E. 2016: Variables más influyentes en la calidad del agua del río Bogotá mediante análisis de datos. *Logos, Ciencia & Tecnología*, 7(2): 35-43.
- Rodríguez-Pacheco, R. L. 2002: *Estudio experimental de flujo y transporte de cromo, níquel y manganeso en residuos de la zona minera de Moa (Cuba): influencia del comportamiento hidromecánico*. Candela-Lledó, L. y Lloret-Morancho, A. (tutores). Tesis doctoral. Instituto Geológico y Minero de España. <https://10.13140/2.1.3934.7849>.
- Samboni, R.; Carvajal, E. y Escobar, J. C. 2017: Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua.



*Revista Ingeniería e Investigación*, 27(3): 172-181. Consultado: 2018/06/23. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v27n3/v27n3a19.pdf>.

- Terrero-Abella, A. 1995: Evaluación de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas en la cuenca del río Moa, Cuba, por efecto de la actividad minero metalúrgica. p. 143-146. En: *Aspectos geológicos de protección ambiental*. Volumen II. Uruguay: Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe.
- Thi, M. 2011: Development of Water Quality Indexes to Identify Pollutants in Vietnam's Surface Water. *Journal of Environmental Engineering*, 137(4): 273-283. [https://doi:10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0000314](https://doi:10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000314).
- Torres, B.; González, G.; Rustrián, E. y Houbron, E. 2013: Enfoque de cuenca para la identificación de fuentes de contaminación y evaluación de la calidad de un río, Veracruz, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 29: 135-146.
- Rodríguez-Miranda, J. P.; Serna-Mosquera, J. A. y Sánchez-Céspedes, J. M. 2016: Índices de calidad en cuerpos de agua superficiales en la planificación de los recursos hídricos. *Logos, Ciencia & Tecnología*, 8(1): 159-167.
- Valcárcel, L.; Alberro, N. y Frías, D. 2009: El Índice de calidad de agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. *Medio Ambiente y Desarrollo*, 9(16): 1-5.

## Información adicional

### Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

### Contribución de los autores

MFR: Idea de la investigación, revisión bibliográfica, análisis de resultados, redacción del original, aprobación de la versión final. RMGL: Análisis de datos, revisión de la versión original y aprobación de la versión final.

### ORCID

MFR, <https://orcid.org/0000-0003-1211-3865>

RMGL, <https://orcid.org/0000-0003-1075-8176>

Recibido: 29/09/2020

Aceptado: 19/11/2020