

## DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA CALIDAD DE AGUA EN ZONAS MINERAS DEL RÍO MAGUACA, REPÚBLICA DOMINICANA

### Spatial distribution of water quality in mining areas of the Maguaca river, Dominican Republic

Juan Miguel Arias Moronta<sup>1</sup>, Pedro Antonio Núñez Ramos<sup>2</sup>, Laura Benegas Negrí<sup>3</sup>, José Ney Ríos<sup>4</sup>

#### RESUMEN

La minería produce externalidades negativas sobre la agricultura, contaminando los cuerpos de agua. El río Maguaca, posee un hábitat con caudal permanente y flora y fauna biodiversa. Por su cercanía con una zona minera en explotación, podría estar presentando niveles elevados de metales pesados y alterar la calidad de sus aguas. Por esto, se realizó la investigación con el objetivo de determinar el comportamiento espacial de la calidad de agua del río Maguaca, vinculada a actividades mineras en el municipio de Cotuí, República Dominicana. Se realizó un muestreo no probabilístico en siete puntos de muestreo (PM) en los ríos Maguaca y Yuna. Se tomaron muestras de agua en el tiempo t1 (diciembre 2020, época lluviosa) y t2 (febrero 2021, época seca), y se determinó la concentración de metales pesados (MP) por espectrofotometría de absorción atómica y variables fisicoquímicas. Se analizó plomo (Pb), cromo (Cr), níquel (Ni), y cadmio (Cd). Para el Pb se obtuvo valores entre 0 y 0.0009 mg l<sup>-1</sup>; Cr entre 0 y 0.0009 mg l<sup>-1</sup> en t1 y t2; en Ni entre 0 y 0.021 mg l<sup>-1</sup> en t1 y de 0.0009 a 0.013 mg l<sup>-1</sup> en t2; y Cd entre 0 y 0.0009 mg l<sup>-1</sup> para t1 y t2, respectivamente. En t1, el pH fue entre 7.93 y 8.44; CE (μS cm<sup>-1</sup>) entre 131.7 y 327.5; salinidad (g kg<sup>-1</sup>) entre 0.077 y 0.161; turbidez (TNU) se mantuvo entre 0.1 en la naciente y excedió el LMP con 10.8 en el PM 7; O<sub>2</sub> (%) entre 36.6 y 46.9; DBO (mg l<sup>-1</sup>) entre 3.11 y 11.81; DQO (mg l<sup>-1</sup>), entre 6.35 y 24.67; hierro (Fe) (mg l<sup>-1</sup>), entre 0 y 0.11. También, se obtuvo valores de aforo entre 0.46 y 20.46 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> en diciembre 2020 y 0.44 a 19.84 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> en febrero 2021. Los resultados muestran un comportamiento variado de la calidad de agua del río Maguaca, fluctuando de acuerdo con la zona y los parámetros medidos. La calidad del agua se ve afectada en la parte alta (minería), baja de la cuenca (poblado) y media con actividades agropecuarias.

**Palabras clave:** metales pesados, espectrofotometría, interpolación, contaminación.

#### ABSTRACT

Mining produces negative externalities for agriculture, polluting water bodies. The Maguaca River has a habitat with a permanent flow and diverse flora and fauna. Due to its proximity to a mining area, it could be presenting elevated levels of heavy metals and affecting the quality of its waters. For this reason, research was conducted to determine the spatial behavior of the water quality of the Maguaca River, linked to mining activities in the municipality of Cotuí, Dominican Republic. Non-probabilistic sampling was carried out at seven sampling points (PM) in the Maguaca and Yuna rivers. Water samples were taken at time t1 (December 2020, rainy season) and t2 (February 2021, dry season), and the concentration of heavy metals (PM) was determined by atomic absorption spectrophotometry and physicochemical variables. Lead (Pb), chromium (Cr), nickel (Ni), and cadmium (Cd) were analyzed. For Pb, values between 0 and 0.0009 mg l<sup>-1</sup> were obtained; Cr between 0 and 0.0009 mg l<sup>-1</sup> in t1 and t2; in Ni between 0 and 0.021 mg l<sup>-1</sup> in t1 and from 0.0009 to 0.013 mg l<sup>-1</sup> in t2; and Cd between 0 and 0.0009 mg l<sup>-1</sup> for t1 and t2, respectively. At t1, the pH was between 7.93 and 8.44; EC (μS cm<sup>-1</sup>) between 131.7 and 327.5; salinity (g kg<sup>-1</sup>) between 0.077 and 0.161; Turbidity (TNU) remained between 0.1 in the source and exceeded the LMP with 10.8 in PM 7; O<sub>2</sub> (%) between 36.6 and 46.9; BOD (mg l<sup>-1</sup>) between 3.11 and 11.81; COD (mg l<sup>-1</sup>), between 6.35 and 24.67; iron (Fe) (mg l<sup>-1</sup>), between 0 and 0.11. Also, capacity values between 0.46 and 20.46 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> were obtained in December 2020 and 0.44 to 19.84 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> in February 2021. The results show a varied behavior of the water quality of the Maguaca River, fluctuating according to the area and the measured parameters. Water quality is affected in the upper part (mining), lower part of the basin (town) and middle part with agricultural activities.

**Keywords:** heavy metals, spectrophotometry, interpolation, pollution.

<sup>1</sup> Egresado, Maestría en Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4166-598X>. [juan.arias@catie.ac.cr](mailto:juan.arias@catie.ac.cr)

<sup>2</sup> Docente e investigador, Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias, Universidad Autónoma de Santo Domingo, República Dominicana. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7580-7931>. [pnunez25@uasds.edu.do](mailto:pnunez25@uasds.edu.do)

<sup>3</sup> Coordinadora, Maestría Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1890-0213>. [laura.benegas@catie.ac.cr](mailto:laura.benegas@catie.ac.cr)

<sup>4</sup> Docente, Unidad de Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas, Centro Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7785-4413>. [ney.rios@catie.ac.cr](mailto:ney.rios@catie.ac.cr)

## INTRODUCCIÓN

La minería es una de las actividades que genera más ingresos a nivel mundial (Zárate et al., 2020). Entre los años 2015 a 2020, se extrajo un promedio de 3 228 toneladas métricas de oro por año (Díaz, 2021). En 2010, República Dominicana recibió el aporte más alto del sector minero sobre el PIB de los países latinoamericanos con 5.6 %, seguido de Panamá con 4.8 % (Bárcena, 2018). Sin embargo, cada año el país recibe altos ingresos generados por la minería (BCRD, 2021). El valor agregado generado por la minería dentro del Producto Interno Bruto (PIB) en la República Dominicana en el año 2020 ascendió a RD\$ 89 231.2 millones, equivalente a un 2.0 % del PIB, siendo los rubros más importantes el oro, arena, grava y gravilla, ferroníquel, plata, mármol, cobre y yeso (BCRD, 2021).

Según del Pozo et al. (2014), la minería produce externalidades negativas sobre la agricultura, contaminando los cuerpos de agua, lo que reduce la productividad y externalidades positivas en la economía, con la dinamización de mercados locales y la creación de empleos. De igual forma, Campos (2020), indica que la minería genera grandes beneficios económicos, escasez y desaparición de los recursos naturales; además, causa efectos negativos sobre la salud y la natalidad. En el mundo, la minería está relacionada con la pérdida del 12 al 25 % de la producción agrícola y del 20 al 35 % de unidades de ganado (del Pozo et al., 2014).

Entre sus efectos, la minería es una actividad que contribuye con la permanencia de metales pesados (MP) en el ambiente. Según García (2014), la minería ha sido muy importante en lo que se refiere a contaminación de ecosistemas acuáticos y del medio ambiente a nivel mundial. Los MP que permanecen en el ambiente y los alimentos resultan tóxicos y causan daños a la salud humana y animal (Buriticá, 2019). Las elevadas concentraciones de MP producen procesos bioquímicos y fisiológicos que ocasionan diversas patologías en el organismo de los seres vivos (Londoño et al., 2016).

Así mismo, como menciona Orozco et al. (2011), la calidad del agua se puede ver afectada por el ingreso de aguas residuales provenientes de zonas urbanas, industriales, agropecuarias, escorrentía temporal, creación de presas, actividades deportivas o recreativas y el uso del recurso de manera directa.

Según Martínez et al. (2019), la República Dominicana ha visto arruinarse grandes espacios territoriales y contaminarse innumerables ríos y acuíferos por parte de la Aluminium Company of America (bauxita), Rosario Maining Company (oro y plata), Falconbridge Dominicana (ferroníquel), Corporación Minera Dominicana (cobre y oro) y Corporación Dominicana de Empresas Estatales-CORDE (sal y yeso), entre otras empresas que durante más de 70 años se han desenvuelto en medio de conflictos sociales por la secuela de daños al ambiente y, en particular, a la calidad de las aguas utilizadas en sus procesos. El río Maguaca, posee un hábitat con caudal permanente, con una densa cobertura de dosel en galería, así como con vegetación acuática sumergida y colgante, además de un lecho rocoso-arenoso (Sánchez-Rosario y Bastardo, 2021). Posee una extensión de 44.4 km, se ubica en la Latitud 19.1 y Longitud -70.1333333. Este río, por su ubicación y cercanía con una zona minera en explotación, podría estar presentando niveles elevados de MP y alterar la calidad de sus aguas, de acuerdo con lo reportado por Martínez et al. (2019), en relación con los posibles impactos de la minería en ríos y acuíferos.

Por otro lado, el desarrollo institucional de un país está relacionado con la explotación de sus riquezas naturales de manera sostenible, pero esto se debe realizar apegado a las normas existentes y, si es necesario, implementar acciones orientadas a mitigar los efectos de la contaminación sobre el recurso hídrico, como el uso de bacterias productoras de biopolímeros y la remoción de la DBO, DQO y SST (Peña et al., 2015).

Este estudio determinó el comportamiento espacial de la calidad del agua vinculada a actividades mineras de oro, plata y cobre en la subcuenca del río Maguaca, Cotuí, República Dominicana, por medio de la identificación de los niveles de metales pesados. Además, se analizó la percepción de actores claves, sobre la calidad de agua y sus efectos sobre algunas actividades agropecuarias, domésticas y la salud humana. La investigación establece el estado de la calidad del agua del río referido, y es una línea base de su monitoreo en aras de la protección de la salud humana y el desarrollo agropecuario de República Dominicana. Por lo tanto, se realizó la investigación con el objetivo de determinar el comportamiento espacial de la calidad de agua del río Maguaca, vinculada a actividades mineras en el municipio de Cotuí, República Dominicana.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación de la zona de estudio

El estudio se realizó en la subcuenca del río Maguaca, provincia Sánchez Ramírez, República Dominicana, en un área de 192.10 km<sup>2</sup> dedicados a la agricultura,

pastoreo, bosque, sabanas y matorrales (Figura 1). La temperatura varía entre 20 y 31 °C, el río tiene una extensión de 44.4 km, la precipitación va de 1 000 a 2 000 milímetros anuales y la topografía varía de plana a accidentada (ONE 2016). Según la clasificación bioclimática de Holdridge (1967), se clasifica como una zona de vida de bosque húmedo subtropical.

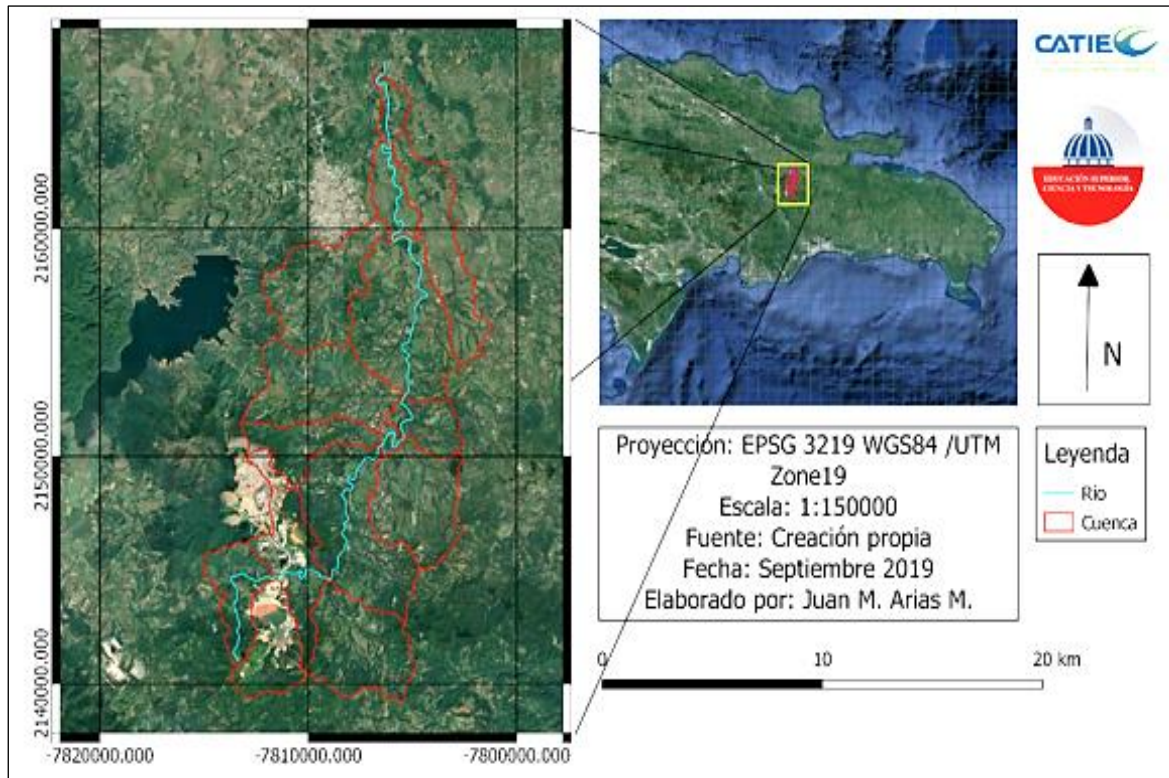


Figura 1. Ubicación geográfica de la subcuenca del río Maguaca. Elaboración de mapa a partir de datos de ONE (2016).

### Metodología

#### Muestreo de agua

Se realizó un recorrido de reconocimiento en el río Maguaca para definir los puntos de muestreo (PM) e identificar las posibles fuentes de contaminación puntuales. Se definió el PM de referencia ubicado en la naciente del río, y se eligieron seis puntos más a lo largo del río Maguaca a una distancia aproximada de 4.40 km. Se definieron dos puntos adicionales en el río Yuna, antes y después de la confluencia con el río Maguaca, para utilizarlos como referencia del aporte

de contaminación (Figura 2). En la Figura 2 se observa la delimitación de la zona de muestreo en las dos fuentes de agua y las zonas de influencia de la mina, del poblado y agropecuaria. Luego, en cada PM, se tomó una muestra de agua para analizar las concentraciones de los metales pesados (cadmio, cromo, níquel y plomo), los cuales se conservaron a 20 °C hasta realizar los análisis de laboratorio, mediante espectrofotometría de absorción atómica, en el laboratorio del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria (CENTA), Ministerio de Agricultura, RD (Hahn-von Hessberg, 2010).

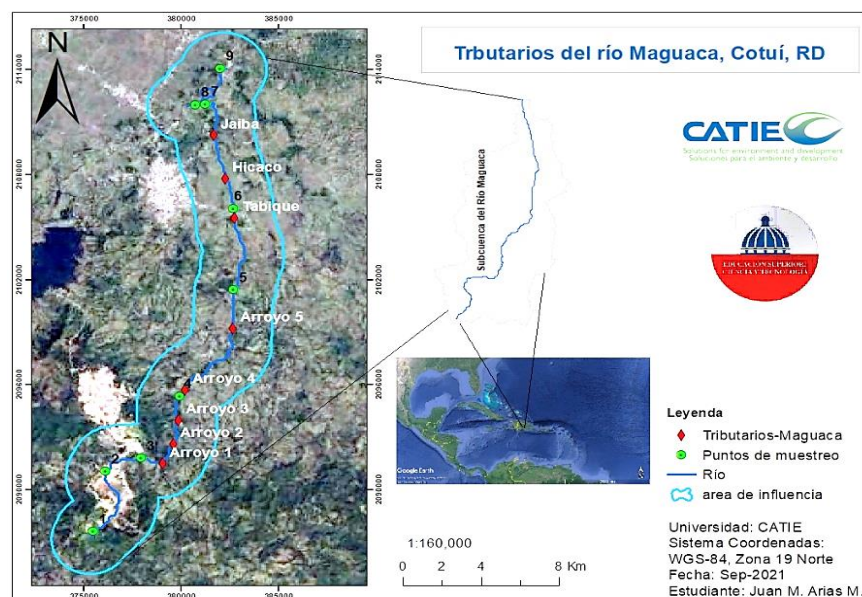


Figura 2. Puntos de muestreo (verde), tributarios y área de influencia del río Maguaca.

Las mediciones de caudal se realizaron con un correntómetro de tipo sónico (OTT MF Pro), tomando mediciones de velocidad del agua a diferentes profundidades en todas las secciones, con intervalo de medida cada 0.5 m. También, se midió el ancho de cada sección y la profundidad del río para calcular el área en cada punto y así, determinar el caudal por el método de velocidad/superficie, con la fórmula  $Q = A * V$ . Donde  $Q$  = caudal ( $m^3 s^{-1}$ ),  $A$  = área ( $m^2$ ) y  $V$  = velocidad ( $m s^{-1}$ ). Este procedimiento se realizó tomando como referencia la metodología de trabajo realizado por González et al. (2007).

Se determinó el comportamiento espacial de la calidad del agua, utilizando el programa ArcMap 10.5 y sus herramientas de interpolación IDW para los parámetros de demanda biológica de oxígeno (DBO), hierro y oxígeno disuelto ( $O_2 D$ ), y Kriging Ordinario para caudal, conductividad eléctrica (CE), demanda química de oxígeno (DQO), concentraciones de fosfatos, níquel y nitratos. Además, se determinó pH, salinidad y turbidez para determinar el comportamiento espacial de la calidad de agua según lo realizado por Iman-Lachira y Bailón-Castro (2021).

#### Aplicación de encuestas

Se aplicaron encuestas a los representantes de instituciones gubernamentales y empresas privadas del municipio de Cotuí, provincia Sánchez Ramírez, entre estas el Instituto Nacional Dominicano de Recursos Hidráulicos (INDRHI), Instituto Agrario Dominicano (IAD), Ministerio de Medio Ambiente y

Recursos Naturales (MIMARENA), Ministerio de Agricultura (MA), Dirección Regional de Salud Pública y la Clínica Núñez, con el fin de conocer la valoración de algunos actores locales con conocimiento sobre el tema de calidad del agua y su impacto a nivel local (Olmos-Martínez et al., 2013), de acuerdo a lo realizado por Alaya-Camacho y García-Samaniego (2016).

#### Análisis estadístico

Los datos fueron tabulados en Microsoft Office, en la hoja de cálculo de Excel y los análisis fueron realizados con el software InfoStat, mediante estadística descriptiva (Di Rienzo et al., 2016).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Metales pesados y parámetros fisicoquímicos del agua del río Maguaca

En diciembre de 2020, el contenido de níquel (Ni) registró la menor concentración en la parte alta, donde, según la turbidez y la salinidad, la calidad del agua es mayor, luego muestra un incremento leve de la concentración de Ni entre la zona de influencia minera y la zona agropecuaria periférica, específicamente en algunos arroyos ubicados en la región (Tabla 1). Se observa un incremento constante en la zona del poblado, manteniéndose así hasta la confluencia con el río Yuna. Mientras, en febrero 2021, la mayor concentración se observa entre el poblado y la confluencia, registrando su máxima concentración en el río Yuna.



Tabla 1. Concentración de metales pesados y parámetros fisicoquímicos en el río Maguaca.

Parámetro	Ríos/puntos de muestreo								
	Maguaca							Yuna	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CE ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) - t2	232.0	144.4	264.8	194.0	172.9	169.4	298.7	327.5	131.7
Turbidez (NTU) - t2	1.6	1.1	10.8	4.2	3.4	4.7	5.6	0.1	2.0
Salinidad ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) - t2	0.078	0.150	0.160	0.090	0.092	0.110	0.130	0.077	0.120
O <sub>2</sub> D ( $\text{mg l}^{-1}$ ) - t2	2.76	3.14	3.23	3.21	2.88	3.35	2.65	3.40	2.71
Ni ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) - t1	0.003	0.0009	0.00	0.008	0.0009	0.005	0.01	0.017	0.021
Fe ( $\text{mg l}^{-1}$ ) - t2	0.00	0.06	0.04	0.02	0.01	0.04	0.11	0.00	0.00
DBO ( $\text{mg l}^{-1}$ ) - t2	3.11	8.14	6.26	9.68	9.41	8.91	11.81	3.78	5.45
DQO ( $\text{mg l}^{-1}$ ) - t2	11.88	8.57	23.92	19.42	20.04	24.67	17.66	9.96	6.35
pH - t1	8.06	8.44	7.9	7.96	7.93	8.14	8.09	8.15	8.23
Caudal ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ ) - t1	0.47	0.46	1.78	3.72	3.76	3.14	5.00	15.25	20.46
Caudal - t2	0.46	0.45	1.73	3.61	3.65	3.05	4.85	15.43	19.85
Fosfatos ( $\text{mg l}^{-1}$ ) - t2	0.25	0.54	2.20	0.38	0.27	0.26	0.37	0.69	0.74
Fe ( $\text{mg l}^{-1}$ ) - t1	0.00	0.00	0.11	0.04	0.01	0.02	0.04	0.06	0.00
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	25.75	25.01	24.71	27.34	28.70	27.75	28.11	26.77	24.72

t1 = tiempo 1; t2 = tiempo dos; CE = conductividad eléctrica; O<sub>2</sub> D= oxígeno disuelto; Ni = níquel; Fe = hierro; DBO = demanda biológica de oxígeno; DQO = demanda química de oxígeno; pH = potencial de hidrógeno.

Todas las concentraciones obtenidas en la segunda temporada de muestreo se mantuvieron por debajo del LMP, a pesar de las altas concentraciones en lugares específicos como el arroyo La Jaiba (Figura 3). Este parámetro excedió el LPM de 0.02 establecido por la NORDOM (norma establecida por el Instituto

Dominicano para la Calidad (INDOCAL) y aprobada por Consejo Dominicano para la Calidad (CODOCA), en diciembre 2020, en el PM9 con 0.021  $\text{mg l}^{-1}$ , además, el menor valor fue cero y se encontró en el PM la mina (Figura 3).

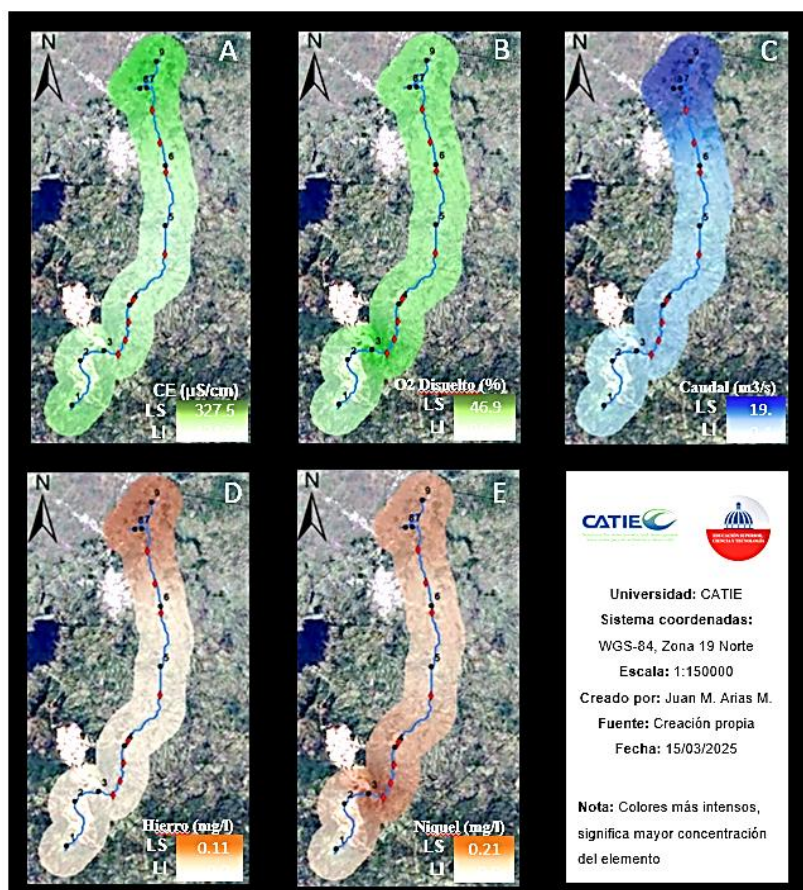


Figura 3. Principales variables medidas en el estudio; A) conductividad eléctrica, B) oxígeno disuelto, C) caudal, D) níquel, E) hierro.

La mayor concentración de hierro fue registrada en el PM 3 con  $0.11 \text{ mg l}^{-1}$  en la zona de influencia minera; mientras que el menor valor fue cero y se registró en los PM 1 y 2 (Figura 3 E). A nivel espacial, se observa que el Fe tiene mayor concentración en la zona de influencia minera y en la desembocadura o confluencia con el río Yuna. El pH y el oxígeno disuelto tienen un comportamiento similar en ambos ríos, siendo el pH entre 7.9 y 8.44, es decir ligeramente alcalino. Mientras el oxígeno disuelto es entre  $2.71$  y  $3.40 \text{ mg l}^{-1}$ . Los metales pesados Cd, Cr y Pb mantuvieron sus

concentraciones respectivas por debajo de 0.0009, inferior a los LMP(s). Mientras que el Ni superó el LMP ( $0.02 \text{ mg l}^{-1}$ ) con  $0.21 \text{ mg l}^{-1}$  en diciembre 2020, y en febrero 2021 se mantuvo por debajo, con  $0.013 \text{ mg l}^{-1}$ . Cabe destacar que el Ni fue el único metal que superó el LMP (Tabla 2). Como lo afirman Londoño et al. (2016), esto se puede lograr con la unión del sector privado, oficial, universidades y científico, con la capacidad de realizar investigaciones sobre sustancias alternativas o metales de menor peligro para la vida que reduzcan el impacto sobre la salud y el medio ambiente.

Tabla 2. Resumen de valores de los metales pesados registrados en el estudio ( $\text{mg l}^{-1}$ ).

Tiempo	Variable	n	Media	Mínimo	Máximo	Mediana	Suma
1	Cromo	9	$9.0\text{E-}04$	$9.0\text{E-}04$	$9.0\text{E-}04$	$9.0\text{E-}04$	0.01
1	Níquel	9	0.01	0.00	0.02	0.01	0.07
1	Cadmio	9	$9.0\text{E-}04$	$9.0\text{E-}04$	$9.0\text{E-}04$	$9.0\text{E-}04$	0.01
1	Plomo	9	$9.0\text{E-}04$	$9.0\text{E-}04$	$9.0\text{E-}04$	$9.0\text{E-}04$	0.01
2	Cromo	9	$9.0\text{E-}04$	$9.0\text{E-}04$	$9.0\text{E-}04$	$9.0\text{E-}04$	0.01
2	Níquel	9	$2.3\text{E-}03$	$9.0\text{E-}04$	0.01	$9.0\text{E-}04$	0.02
2	Cadmio	9	$9.0\text{E-}04$	$9.0\text{E-}04$	$9.0\text{E-}04$	$9.0\text{E-}04$	0.01
2	Plomo	9	$9.0\text{E-}04$	$9.0\text{E-}04$	$9.0\text{E-}04$	$9.0\text{E-}04$	0.01

Se considera que los MP están dentro de los contaminantes más dañinos para la vida acuática. Además, se pueden transformar en el ambiente y bioacumularse en los ecosistemas (Villanueva, 2017). Por su parte, Pérez et al. (2012) afirmaron y demostraron en estudios realizados en la cuenca del río Yuna, que las actividades mineras alteran la concentración de MP y otros elementos en el área donde se desarrollan dichas actividades.

Vásquez (2016) afirma que el Ni es un metal de alta toxicidad que puede causar daños a la salud y la biodiversidad. Sin embargo, Suazo-Madrid et al. (2010), en el Centro Nacional de Investigaciones Científicas de Cuba, aunque trabajaron con pH inferior a 7.5, reportaron que los valores de pH por encima de 7.7 influyen en la disminución de la concentración del Ni, debido a la microprecipitación química de los metales, y los sedimentos fluviales, justo en el fondo de las corrientes de agua. El Ni es acumulado por los vegetales, por lo que los humanos están altamente expuestos a este elemento esencial en bajas cantidades y peligro en exceso (Nordberg, 2000).

Según McFarland y Dosier (2006), el exceso de Fe en el agua la puede tornar rojiza, haciéndola no apta para uso doméstico y agropecuario. Por su parte, Hernández et al. (2017) encontraron contenido de Fe superior a los límites máximos permisibles en aguas subterráneas de Apan, Hidalgo y México. Esto puede

estar relacionado con la minería, debido al proceso de trituración de rocas, de acuerdo con lo afirmado por Acevedo-Sandoval et al. (2004), respecto a la presencia frecuente del hierro en las rocas y en suelos rojizos de uso agrícola. En este trabajo, los niveles de Fe encontrados no excedieron el LMP y se mantuvieron por debajo de  $0.11 \text{ mg l}^{-1}$ .

De acuerdo con Reyes et al. (2016), el Cd es uno de los MP que posee mayor capacidad de bioacumulación en vegetales y con mayor entrada en el cuerpo humano; es liberado al ambiente por medio de aguas residuales y aplicación de fertilizantes, pero los valores encontrados en las mediciones realizadas en el río Maguaca no excedieron de  $0.0009 \text{ mg l}^{-1}$ ; mientras que, según la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSD, 2016), el consumo de cadmio de una persona es entre 10 y 15 g diario.

El Cr está ampliamente distribuido en el medio. Los valores de este encontrados en el río Maguaca no excedieron de  $0.0009 \text{ mg l}^{-1}$  inferior al LMP. Además, es muy utilizado en la agricultura y por eso la ingesta de alimentos es la principal fuente de este metal para los humanos (Nordberg, 2000). El Pb no es tan abundante en forma natural, en el ambiente, pero es vertido a la naturaleza por procesos industriales como la soldadura y el manejo de los combustibles. Su liberación depende mucho del pH y la dureza del agua, se diluye con mayor facilidad en agua blanda y pH ácido (Nordberg, 2000).

## Percepción de actores claves sobre la calidad de agua del río Maguaca

En la Tabla 3, se presenta la percepción de los actores encuestados sobre la calidad de agua del río Maguaca. Los actores representan instituciones locales

relacionadas con las áreas de la salud, el manejo de los recursos naturales y actividades de producción agrícola (Tabla 3), pero no representan al personal del Departamento de Manejo Ambiental de la mina, que se negaron a ofrecer sus opiniones sobre el tema.

Tabla 3. Percepción de actores claves sobre la calidad de agua del río Maguaca y sus posibles efectos sociales (n = 14).

Cuestionamiento	Respuestas (%)		
Calidad de agua	Crítica	Regular	Muy crítica
	64.4	28.6	7.1
Grado de afectación del agua a la agricultura	Medio	Bajo	Alto
	37.5	28.6	28.6
Grado de afectación del agua sobre la salud humana	Medio	Bajo	Nada
	71.5	21.4	7.1
Grado de afectación del agua sobre la biodiversidad	Alto	Bajo	Medio
	64.3	21.4	14.3
Nivel de crecimiento agropecuario	Medio	Bajo	
	71.4	28.6	
Nivel de migración de las personas	Baja	Media	Alta
	42.9	28.6	21.4
Generación de empleos	Baja	Medio	
	57.1	42.9	
Calidad de vida de las personas	Regular	Mala	Muy mala
	64.3	28.6	7.1

Los actores consultados consideran que las actividades mineras en el municipio, alteran las aguas del río Maguaca, provocando una afectación crítica sobre la calidad de esta, y en consecuencia, sobre las actividades agropecuarias que se surten de ella, empobreciendo la biodiversidad, estas opiniones coinciden con lo reportado por Martínez et al. (2019). Esta percepción continúa valorando la afectación sobre la salud de las personas y los ecosistemas, la cual consideran media y alta (Tabla 3). Si bien la gran mayoría de las personas encuestadas reconocen que la minería es una de las principales fuentes de empleo, también manifiestan que la calidad de vida es regular, en buena parte, por el deterioro de recursos naturales como el agua.

Estas actividades podrían estar afectando la biodiversidad, calidad de vida de las personas, la agricultura y ganadería local, así como a la salud humana, como lo sugiere Martínez et al. (2019). González et al. (2007), en diagnóstico sobre calidad de agua en León, Nicaragua, reportan una relación directa entre la presencia de animales y la contaminación del agua subterránea.

## CONCLUSIONES

La calidad de agua del río Maguaca tiene un comportamiento variado, es decir, fluctúa de acuerdo

con la zona y los parámetros medidos. Por ejemplo, los valores más altos de CE, salinidad y Ni se registraron en la zona de influencia de los arroyos Hicaco, Tabique y la Jaiba. Mientras que los parámetros pH, fosfatos, DBO, Fe, y turbidez registraron los picos más altos en la zona de influencia de la mina. Por lo tanto, la calidad de agua se ve afectada no solo en la parte alta de la cuenca con actividades mineras, sino también en la parte baja o zona de influencia del poblado y en la parte media, principalmente en áreas impactadas por actividades agropecuarias.

Los principales actores locales piensan que las actividades mineras afectan la calidad de agua del río Maguaca, y esto podría influir en la calidad de vida de los pobladores que están directamente ligados a su uso, según los informantes.

## Agradecimientos

Al Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología de la República Dominicana por proveer los fondos para llevar a cabo las investigaciones en campo y gabinete. Al investigador Victor Camilo Pulido Blanco de AGROSAVIA (Colombia) por su apoyo en la redacción del documento.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo-Sandoval, O; Ortiz-Hernández, E; Cruz-Sánchez, M; Cruz-Chávez, E. 2004. El papel de óxidos de hierro en suelos (en línea). *Terra Latinoamericana*, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo 22(4):485-497. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/573/57311096013.pdf>
- ATSD (Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades). 2016. Cadmio (en línea). ATSD en español. Disponible en [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs5.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs5.html)
- Ayala-Camacho, G; García-Samaniego, J. 2016. Percepción de la minería artesanal: La Paz, Amazonía de Ecuador (en línea). *Revista LIDER* 18(29):32-48. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7301576.pdf>
- BCRD (Banco Central de la República Dominicana). 2021. Banco Central y Dirección General de Minería analizan importancia del sector para la economía del país (en línea). Disponible en <https://www.bancentral.gov.do/a/d/5194-banco-central-y-direccion-general-de-mineria-analizan-importancia-del-sector-para-la-economia-del-pais>
- Bárcena, A. 2018. Estado de situación de la minería en América Latina y el Caribe: desafíos y oportunidades para un desarrollo más sostenible (en línea). *América Latina y el Caribe: Proyecciones de la tasa de variación del PIB para el 2018*. IX Conferencia de Ministerios de Minería de las Américas. Lima, Perú. Disponible en [https://www.cepal.org/sites/default/files/presentation/files/181116\\_extendidadfinalconferencia\\_a\\_los\\_ministros\\_mineria\\_lima.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/presentation/files/181116_extendidadfinalconferencia_a_los_ministros_mineria_lima.pdf)
- Buriticá, SM. 2019. Metales pesados, plaguicidas y efectos de los disruptores endocrinos en la salud humana y animal. *Fondo Editorial Biogénesis*, 73-82.
- Campos, LD. 2020. Valorización económica de las externalidades por descargas mineras al agua y su efecto en la salud humana y agricultura: resumen. *Magister*. Concepción, Chile, UdeC. 4(94) p.
- del Pozo, C; Valerio, P. 2014. Cómo impacta la minería en la producción agropecuaria del Perú. *Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de las Casas* (en línea). *Economía y Sociedad*. Perú. Disponible en [http://www.cies.org.pe/sites/default/files/files/articulos/economiasociedad/01-del\\_pozo\\_ok.pdf](http://www.cies.org.pe/sites/default/files/files/articulos/economiasociedad/01-del_pozo_ok.pdf)
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; González, L; Tablada, M; Robledo, C. 2016. *InfoStat*, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Díaz, A. 2021. Producción minera de oro a nivel mundial 2005-2020. *Statista*. Productos químicos y materia prima. (en línea). Disponible en <https://es.statista.com/estadisticas/634823/produccion-minera-de-oro-mundial/>
- García, E. 2014. Incidencia en la minería abandonada en la cuenca del río Valdeazogues y valoración del impacto sobre el sistema acuático (en línea). Disponible en <http://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/29146>
- González, O; Aguirre, J; Saugar, G; Orozco, L; Álvarez, G; Palacios, K; Guevara, O. 2007. Diagnóstico de la calidad del agua de consumo en las comunidades del sector rural noreste del municipio de León, Nicaragua (en línea). UNAN-León. Disponible en <https://doi.org/10.5377/universitas.v1i1.1625>
- Hahn-von, CM; Toro, D; Grajales-Quintero, A; Duque-Quintero, G; Serna-Urbe, L. 2010. Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola. *Boletín Científico Centro de Museos de Historia Natural* 13(2). Universidad de Caldas, municipio de Palestina, Colombia. 94 (298). ISSN 0123 - 3068.
- Hernández, S; Gómez, A; Juárez, P; Hernández, G. 2017. Determinación de hierro y manganeso en el agua subterránea del municipio de Apan, Hidalgo, México. *Reacción ciencia y tecnología universitaria*. ISSN: 2007-7750.
- Holdridge, LR. 1967. *Lifezoneecology*. Life zone ecology. San José, CR, Tropical Science Center. 206 p.
- Iman-Lachira; Bailón. 2021. Evaluación del impacto de ruido ambiental utilizando el método de interpolación Kriging en el Centro Poblado Santa María de Huachipa, Lima (Perú): Metodología, Trabajo de gabinete. *Ingeniería ambiental*. Lima, Perú, Universidad Peruana Unión. 10 (21) p.
- Londoño, F; Londoño, M; Muñoz, G. 2016. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal (en línea). *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 14(2):145-153. Disponible en [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s1692-35612016000200017&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=s1692-35612016000200017&script=sci_abstract&tlng=pt)
- Martínez, E; Tió, RC; Tatis, LR; de León, P; Salcedo, L. 2019. Calidad del agua en la república dominicana (en línea). *Calidad del Agua en las Américas*, 560. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Diego-Chalarca-Rodriguez/publication/335686525\\_Calidad\\_del\\_agua\\_en\\_Colombia/links/5d74ff734585151ee4a69aeb/Calidad-del-agua-en-Colombia.pdf#page=561](https://www.researchgate.net/profile/Diego-Chalarca-Rodriguez/publication/335686525_Calidad_del_agua_en_Colombia/links/5d74ff734585151ee4a69aeb/Calidad-del-agua-en-Colombia.pdf#page=561)
- Mc Farland, M; Dozier, M. 2006. Problemas del agua potable: el hierro y el manganeso. 1(4) e2001-45049-01149. 6p.
- Nordberg, G. 2000. Metales: propiedades químicas y toxicidad (en línea). *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. Disponible en <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+63.+Metales+propiedades+qu%C3%ADmicas+y+toxicidad>
- Olmos-Martínez, E; González-Ávila, M; Contreras-Loera, M. 2013. Percepción de la población frente al cambio climático en áreas naturales protegidas de Baja California Sur, México (en línea). *Revista Latinoamericana* 22(8). Disponible en <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-65682013000200020>
- ONE, 2016. Oficina Nacional de Estadística (en línea). *Sistema estadístico nacional de la República Dominicana*. Disponible en <https://one.gob.do/publicaciones/2016/>
- Orozco, C; Flores, G; Corral, J; Velasco, J. 2011. Modelaje



- estocástico de la variabilidad espacial de la calidad de agua en un ecosistema lacustre (en línea). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 20(3):99-108. Disponible en <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/22859/21695>
- Peña, H; Cuesta, G; Betancur, P. 2015. Removal of pollutant load in industrial wastewater at laboratory scale. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. Manizales. Colombia. Facultad de Ciencias de la Salud (CIMAD). Universidad de Manizales. Manizales. Colombia. ISSN 2145-6097.
- Pérez, P; Marañón, R; González, A; Rodríguez, M; Naranjo, L. 2012. Estudio de la correlación entre el índice biótico BMWP-Cub y parámetros fisicoquímicos en el río Gascón de Santiago de Cuba (en línea). *Revista Cubana de Química* 24(3):231-242. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/4435/443543727005.pdf>
- Reyes, Y; Vergara, I; Torres, O; Díaz, M; Gonzales, E. 2016. Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria (en línea). *Revista Ingeniería y Desarrollo* 16(2):66-77. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6096110.pdf>
- Sánchez-Rosario, A; Bastardo, RH. 2021. Confirmación de la presencia de *Progomphusinteger* (Odonata: Gomphidae) en República Dominicana (en línea). *Novitates Caribaea* (17):184-186. Disponible en <https://doi.org/10.33800/nc.vi17.253>
- Suazo-Madrid, E; Morales-Barrera, L; Cristiani-Urbina, M; Cristiani-Urbina, E. 2010. Effect of pH on nickel (II) biosorption by *Saccharomyces cerevisiae* var. *ellipsoideus* (en línea). Centro Nacional de Investigaciones Científicas La Habana, Cuba. 5 (14). Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/1816/181620500024.pdf>
- Vásquez, MG. 2016. Evaluación de la concentración Cadmio y Níquel en agua, suelos y sedimentos de la Reserva Biológica de Limoncocha para establecer la línea base, 2015-2016.
- Villanueva, A. 2017. Estudio de la remoción de cromo hexavalente presente en solución acuosa, empleando la biomasa de la *Musa paradisiaca* como biosorbente: Contaminantes inorgánicos (en línea). Licenciatura en ciencias ambientales. Toluca, México, Universidad Autónoma del Estado de México. 117 (13). Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/154795391.pdf>
- Zárate, R; Vélez, CL; Caballero, J. 2020. La industria extractiva en América Latina, su incidencia y los conflictos socioambientales derivados del sector minero e hidrocarburos (en línea). *Revista Espacios* 41(21). Disponible en <https://www.revistaespacios.com/a20v41n24/a20v41n24p13.pdf>

Artículo recibido en: 09 de diciembre del 2024

Aceptado en: 15 de abril del 2025