

BIOMONITOREO DE LA CONFLUENCIA DE LOS RÍOS MAGUACA Y YUNA, COTUÍ, REPÚBLICA DOMINICANA

Biomonitoring of the confluence of the Maguaca and Yuna rivers, Cotui, Dominican Republic

Juan Miguel Arias Moronta¹, Pedro Antonio Núñez Ramos², Laura Benegas Negrí³,
José Ney Ríos⁴

RESUMEN

Los procesos degradativos como la minería provocan pérdida de especies, cobertura forestal, servicios ecosistémicos y contaminan los cuerpos de agua. Bajo esta problemática, se determinó el comportamiento de la calidad del agua de la confluencia de los ríos Maguaca y Yuna, en el municipio de Cotuí, República Dominicana, asociada a actividades mineras. La investigación se realizó durante dos momentos: diciembre de 2020 (t1) y febrero de 2021 (t2). Para esto, se realizó un muestreo determinista de siete puntos equidistantes en el río Maguaca, y dos en el río Yuna, en t1 en época lluviosa y t2 en época seca. Además, se analizó la presencia de especies de macroinvertebrados bentónicos como indicadores de la calidad del agua según el método BMWP-Cub, y se determinó la composición y estructura de la vegetación riparia. Asimismo, se detalló el comportamiento espacial de las variables fisicoquímicas del agua como potencial de hidrógeno (pH), salinidad, conductividad eléctrica (CE), turbidez, demanda biológica de oxígeno (DBO), nitratos (NO₃⁻), demanda química de oxígeno (DQO), fosfatos (PO₄³⁻), temperatura, oxígeno disuelto (O₂D), carbono orgánico total (COT), y concentración de hierro (Fe). Se obtuvo agua de calidad crítica (muy contaminada) en la parte alta y muy crítica (fuertemente contaminada) en la parte baja, en ambos tiempos. Se recomienda fortalecer las políticas de seguimiento a los efectos ambientales, socioeconómicos y de salud.

Palabras clave: parámetros fisicoquímicos, macroinvertebrados bentónicos, método BMWP-Cub, cuenca.

ABSTRACT

The degradative processes such as mining cause loss of species, forest cover, ecosystem services and contaminate bodies of water. Under this problem, the behavior of the water quality of the confluence of the Maguaca and Yuna rivers, in the municipality of Cotuí, Dominican Republic, associated with mining activities, was determined. The research was carried out during two moments: December 2020 (t1) and February 2021 (t2). For this, a deterministic sampling of seven equidistant points in the Maguaca River, and two in the Yuna River, was carried out at t1 in rainy season and t2 in dry season. In addition, the presence of benthic macroinvertebrate species was analyzed as indicators of water quality according to the BMWP-Cub method, and the composition and structure of the riparian vegetation was determined. Likewise, the spatial behavior of the physicochemical variables of water such as potential hydrogen (pH), salinity, electrical conductivity (EC), turbidity, biological oxygen demand (BOD), nitrates (NO₃⁻), chemical oxygen demand (COD), phosphates (PO₄³⁻), temperature, dissolved oxygen (O₂D), total organic carbon (TOC), and iron concentration (Fe). Water of critical quality (very contaminated) was obtained in the upper part and very critical quality (heavily contaminated) in the lower part, at both times. It is recommended to strengthen monitoring policies for environmental, socioeconomic and health effects.

Keywords: physicochemical parameters, benthic macroinvertebrates, BMWP-Cub method, basin.

¹ Escuela de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias. Egresado de 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

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

³ 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

⁴ 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

INTRODUCCIÓN

Los procesos degradativos como la minería provocan pérdida de especies, cobertura forestal, servicios ecosistémicos y contaminan los cuerpos de agua (Machado, 2010). En ese sentido, Ovalles (2011) atribuye el 55 % de la deforestación total en la República Dominicana a la expansión de la agricultura, 26 % a la minería y extracción maderera, 7 % a incendios forestales y 12 % a la expansión de las zonas urbanas. En ese mismo orden, Durango (2020) manifiesta que la crisis ambiental generada por las explotaciones mineras afecta al ciclo hidrológico influyendo en el calentamiento global, lo que debilita la capa de ozono (O₃), facilita procesos de contaminación del agua, el suelo y el aire, disminuye la cobertura forestal, promueve la desaparición de ecosistemas naturales, y eleva la desigualdad y exclusión social.

La República Dominicana ha sufrido daños territoriales y la contaminación de ríos y acuíferos por grandes empresas mineras de capitales transnacionales que explotan bauxita, oro y plata, ferroníquel, cobre y oro, y sal y yeso, y 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 (Martínez et al., 2019). Por ejemplo, en el 2012, las aguas de la presa de Hatillo manipuladas por la empresa minera que explota oro en la región, presentaron pH de 2.1, conductividad eléctrica (CE) de 4.580 $\mu\text{S cm}^{-1}$ y contenido de hierro superior a 2.000 mg L^{-1} determinado mediante análisis de agua (De León, 2012). Así, de acuerdo con Pérez et al. (2012), en República Dominicana, la minería se relaciona con el deterioro del ambiente próximo a la mina, afectando los ecosistemas, calidad y erosión, fertilidad y profundidad de los recursos como agua y suelo.

El río Maguaca, es un cuerpo de agua lótico de aproximadamente 45 km de longitud ubicado entre los 19.1 grados de latitud y los -70.13 grados de longitud,

se caracteriza por poseer una espesa cubierta arbórea, así como vegetación acuática sumergida y colgante, en un lecho rocoso-arenoso, que alberga varias formas de vida (Sánchez-Rosario y Bastardo, 2021). Este río, próximo a actividades mineras de ferroníquel, oro, plata y cobre, podría estar sufriendo los embates descritos por Martínez et al. (2019). Sin embargo, hasta este momento, se desconoce si hay afectación en la calidad de sus aguas, o de tributarios como el río Yuna. Además de los parámetros fisicoquímicos medidos por De León (2012), de acuerdo con Roldán-Perez (2016), el uso de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad del agua es un método complementario exitoso a los tradicionales análisis fisicoquímicos y bacteriológicos.

Por ende, el objetivo del estudio fue determinar el comportamiento espacial de la calidad de agua en la subcuenca del río Maguaca, Cotuí, República Dominicana, vinculada a actividades mineras de oro, plata y cobre. En ese sentido se utilizaron macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad aunados a los parámetros fisicoquímicos. Asimismo, se evaluó la vegetación rivereña del río Maguaca y los efectos de la calidad de sus aguas sobre la calidad de agua del río Yuna, principal río en cuanto a utilidad agrícola en 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, confluencia con el río Yuna, en un área de 192.10 km^2 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), es una zona de vida de bosque húmedo subtropical.

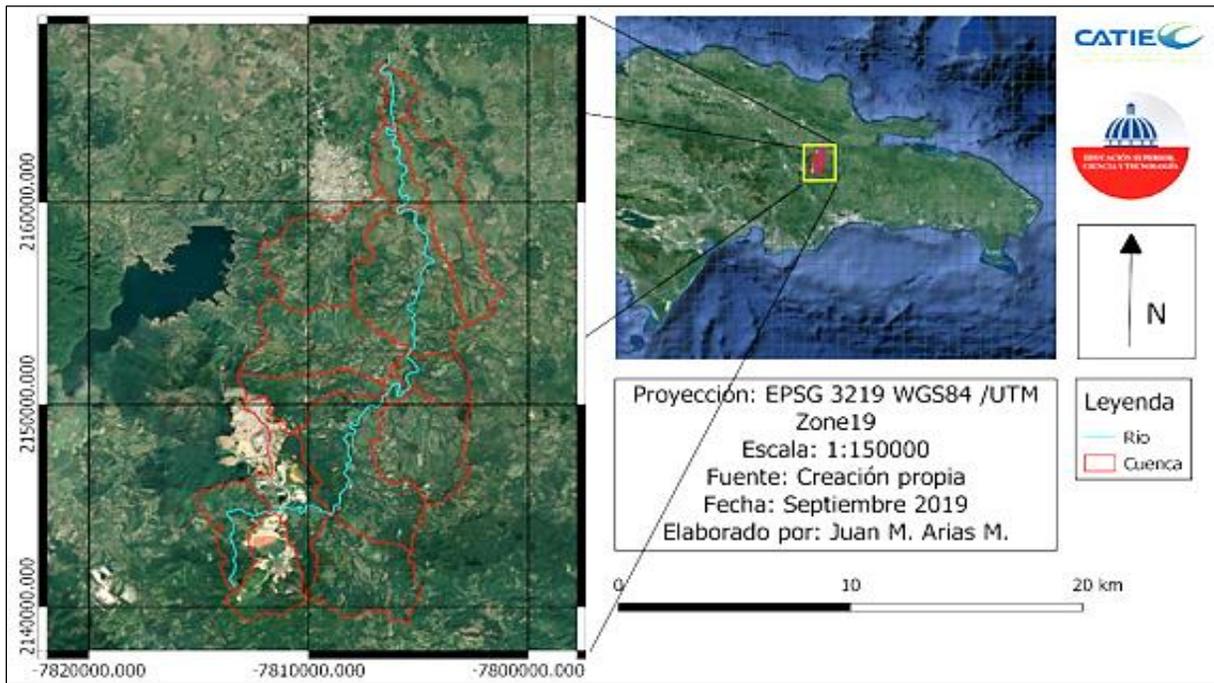


Figura 1. Ubicación geográfica de la subcuenca del río Maguaca. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ONE (2016).

Metodología

Muestreo de agua. Se realizó un recorrido de reconocimiento en el río Maguaca en diversos sitios para definir los puntos de muestreo (PM), según Figura 2, para identificar las posibles fuentes de contaminación puntuales. Primero, se definió el PM de referencia ubicado en la naciente del río, se eligieron seis puntos más a una distancia aproximada de 4.40 km; segundo, se definieron dos puntos más en el río

Yuna (antes y después de la confluencia con el río Maguaca), para utilizarlos como referencia del aporte de contaminación (Moreno, 2020). Luego, en cada PM, se tomó una muestra de agua, las cuales se conservaron a 20 °C hasta analizar los metales cadmio, cromo, níquel y plomo, mediante espectrofotometría de absorción atómica, en el laboratorio del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria (CENTA), Ministerio de Agricultura, República Dominicana (Hahn-Von et al., 2010).

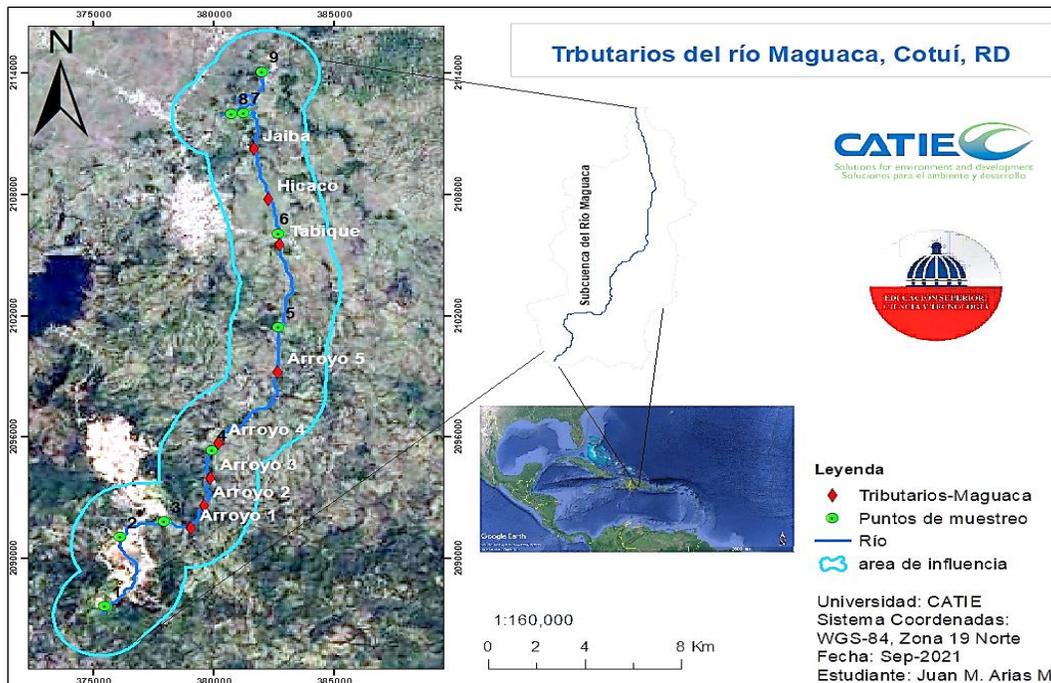


Figura 2. Puntos de muestreo (verdes), tributarios y área de influencia del río Maguaca.

Propiedades fisicoquímicas del agua. Se determinó el comportamiento espacial de las variables fisicoquímicas potencial de hidrógeno (pH), salinidad, conductividad eléctrica (CE), turbidez, demanda biológica de oxígeno (DBO), nitratos (NO_3^-), demanda química de oxígeno (DQO), fosfatos (PO_4^{3-}), temperatura, oxígeno disuelto (O_2D), carbono orgánico total (COT), y concentración de hierro (Fe). Además, se determinó la presencia de macroinvertebrados, la calidad del agua y vegetación ribereña (Casanova et al., 2019).

Macroinvertebrados en el agua. Para la colecta de los macroinvertebrados se realizaron tres jameos de tres minutos con una malla de 250 micras, en un área de 50 metros, en cada uno de los nueve puntos establecidos (Posada-García et al., 2008). Luego de identificar, clasificar y registrar los ejemplares encontrados, se otorgó el puntaje correspondiente a cada familia encontrada para hacer la sumatoria y conocer la calidad del agua de acuerdo con el método de macroinvertebrados bentónicos (MIB), según el método *Biological Monitoring Sorquín Party* (MBWP 2005), el cual toma en cuenta 68 familias de macroinvertebrados para determinar la calidad del agua. Este método se ajustó tomando los valores de tolerancia a contaminantes (1 a 10) para cada especie, teniendo en consideración el arreglo metodológico propuesto por Bello et al. (2017) sobre MBWP-Cub.

Vegetación ribereña. Para la identificación de la composición y estructura de la vegetación riparia se tomó un rango de 50 m a lo largo del río en cada PM y 30 m a ambos lados del cauce. Se identificó el tipo de vegetación existente según la metodología de González y García (2010).

Análisis de datos. Los datos fueron tabulados en Microsoft office, en la hoja de cálculo de Excel, y los análisis fueron realizados con el software InfoStat (Balzaniri et al., 2016), mediante estadística descriptiva: rangos, indicando mínimos y máximos, y medias por variable.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables fisicoquímicas

En términos de conductividad eléctrica CE y calidad de agua, se observan valores de CE con un mínimo de $131.70 \mu\text{S cm}^{-1}$ en la zona de influencia agropecuaria, un máximo de 327.50 en la zona de influencia del poblado, donde se ubican los arroyos Tabique, Hicaco y La Jaiba (Figura 3A), siendo inferior al límite máximo

permisible (LMP) de $1500 \mu\text{S cm}^{-1}$. El agua presentó un rango de pH entre 7.33 a 8.44 (neutro a ligeramente alcalino), variando en menos de una unidad en ambos momentos (t_1 y t_2). El pH es alcalino, 8.44, y se encuentra en la parte alta del río, justamente después de la zona de influencia minera, mientras que el más bajo 7.93 (ligeramente alcalino) se encuentra entre la zona de influencia agropecuaria y el poblado, con valores permisibles (Figura 3B). En la turbidez se observó un incremento en los puntos cercanos a la mina en la parte alta y media-alta de la subcuenca (Figura 3B). Luego, desciende en la zona de influencia agropecuaria hasta llegar al poblado, donde se observa un incremento superior al LMP de 10 TNU (Unidad Nefelométrica de turbidez), Figura 3B. El valor máximo de turbidez del río Maguaca se registró en la zona de influencia de la mina con 10.8 TNU, superior al LMP de 10 TNU, mientras que el mínimo se refleja justo antes de la mina con 1.1 TNU. Además, la concentración de turbidez del río Maguaca incrementa los valores del río Yuna de 0.1 a 2 TNU. El valor mínimo de salinidad del río Maguaca fue 0.07 mg kg^{-1} registrado en el punto de referencia, próximo a la naciente del río; mientras que el máximo fue de 0.16, registrado en el PM 3, zona de influencia minera (Figura 3C).

Lo anterior es opuesto a la tendencia espacial, que registra la mayor concentración en la zona de influencia de los arroyos Hicaco y La Jaiba. El aporte de caudal del río Maguaca influye en la reducción de salinidad del río Yuna elevándolo de 0.077 a 0.12 mg kg^{-1} . Cuando la aplicación de fertilizantes se realiza en exceso en un área determinada, se contaminan los acuíferos, lo que inevitablemente influye de manera directa en la salinidad del agua (Mata-Fernández et al., 2014). Esto relaciona los picos en la concentración de la salinidad con las actividades agropecuarias que se desarrollan en la zona y por el vertido de aguas residuales procedentes de pocilgas y del poblado. Según Hernández (2015), la salinidad del agua es importante para determinar la calidad de esta, especialmente cuando es dedicada al consumo humano y agropecuario. Las sales disueltas en agua determinan la perpetuidad, existencia o comportamiento de cualquier especie que se desarrolle en este medio. Este comportamiento guarda relación directa con la CE. En cuanto a la turbidez con respecto a la salinidad, muestran un comportamiento afín, con excepción del punto número 7, donde la salinidad aumenta y la turbidez disminuye (Figura 3C). Estos resultados contrastan con los obtenidos por Sampognaro (2018), donde no se observó relación entre la concentración de la salinidad y la turbidez.

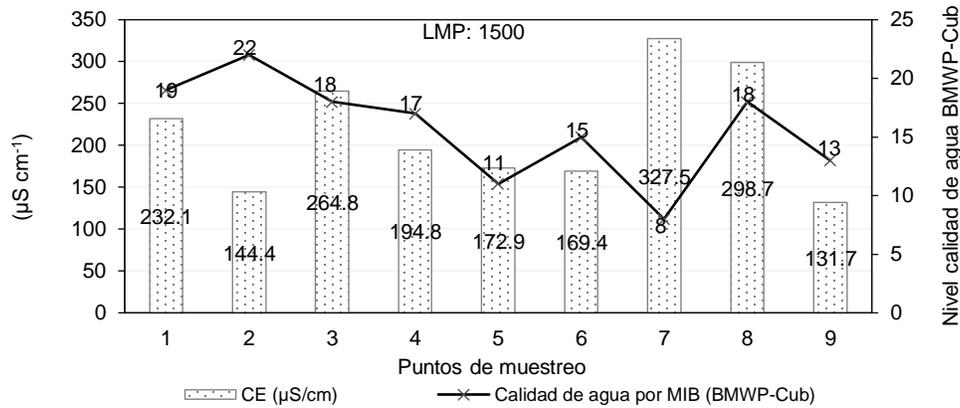


Figura 3A.

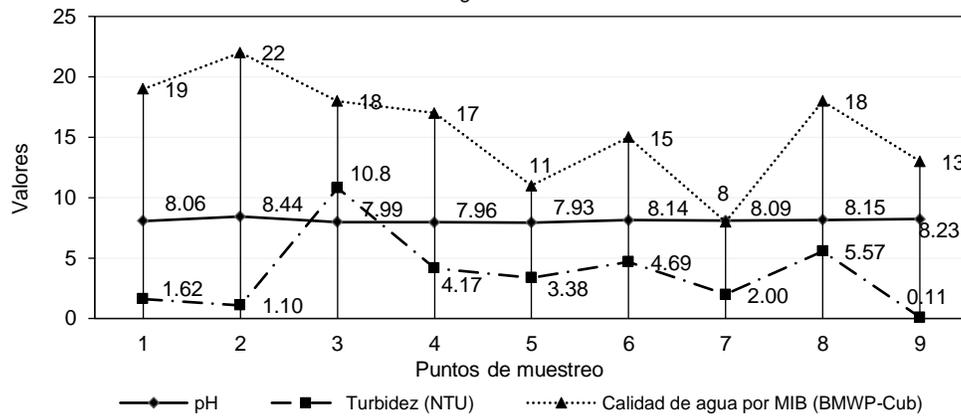


Figura 1B.

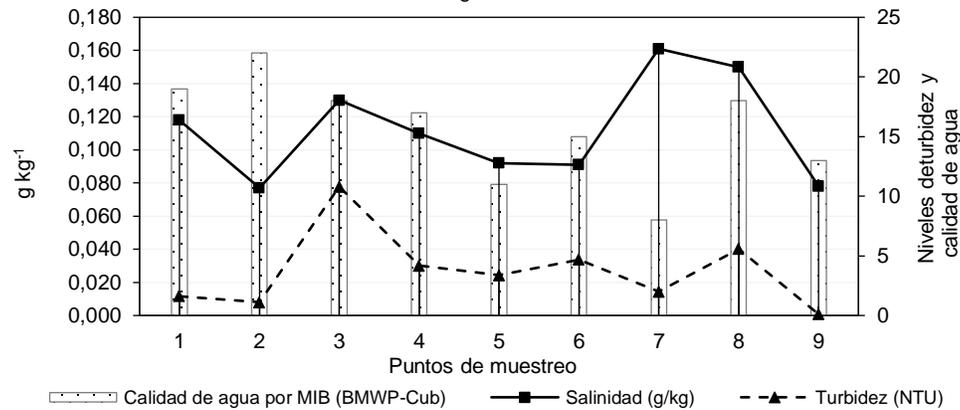


Figura 3C.

Figura 3. Comportamiento espacial de las variables: 3A. CE y la calidad del agua (BMWP-Cub) en la cuenca del río Maguaca, Cotuí, República Dominicana. 3B. Turbidez, pH, macroinvertebrados sobre la calidad del agua (BMWP-Cub). 3C. Comparación de turbidez y salinidad con la calidad de agua de acuerdo con MIB, río Maguaca, Cotuí, República Dominicana.

La mayor cantidad de oxígeno disuelto (O_2D) se observó en la confluencia, antes y después del paso del río por la mina y en la zona del poblado; mientras que, en la naciente y en la mina, es donde se observa la menor cantidad de O_2D (Figura 4): el valor más alto se obtuvo en el río Yuna, con 3.4 ppm, y el PM 6 con 3.35 ppm; el valor mínimo se obtuvo en el PM 7 antes de la confluencia. Cabe destacar que el río Maguaca reduce el O_2D del río Yuna de 3.4 a 2.71 ppm. La demanda química de oxígeno (DQO) más alta se obtuvo en el PM 6, bajo la influencia del arroyo Tabique

con 24.67 mg L^{-1} y la menor en el río Yuna después de la confluencia, con 6.35 mg L^{-1} . Este comportamiento es similar al presentado por la DBO (Figura 4). La menor demanda biológica de oxígeno (DBO) fue de 3.11 mg L^{-1} y se obtuvo en la naciente, con un valor máximo de 11.81 mg L^{-1} . El valor mínimo requerido por la NORDOM es de 2 mg L^{-1} en aguas destinadas para uso humano y animal. La DBO incrementa en la zona de influencia minera y se mantiene así hasta la desembocadura en el río Yuna, donde altera los valores de DBO en este caudal, en un 30.6 %.

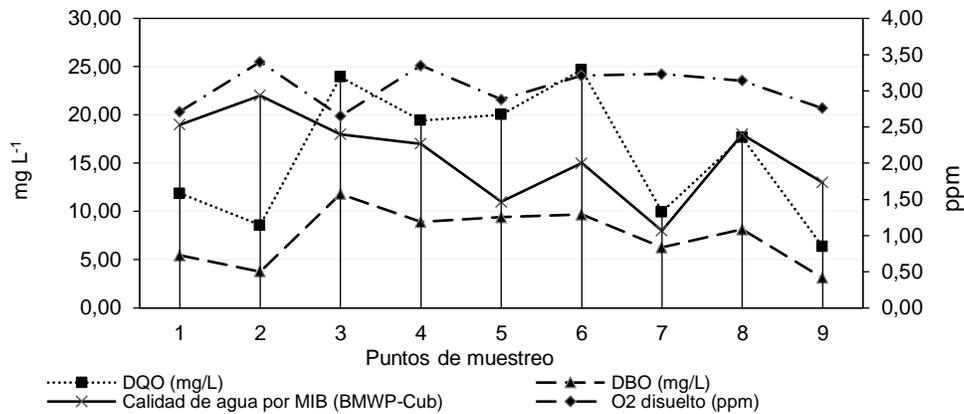


Figura 4. Comparación del comportamiento de la DQO, DBO, O2 D y calidad de acuerdo con MIB BMWP-Cub.

El río Yuna registró valores de CE superiores a los encontrados en el río Maguaca, lo cual concuerda con lo expresado por Pérez et al. (2012), cuando afirman y demuestran con estudios realizados, que las actividades mineras alteran la concentración de metales pesados y otros elementos en el área donde se desarrollan dichas actividades. En ese mismo orden, Aumassanne y Fontanella (2015), reportan que el comportamiento del caudal influye en los niveles de CE del agua y guarda relación con la cantidad de O₂D presente en el agua, así como con el comportamiento y supervivencia de las especies acuáticas.

En ese aspecto, considerando lo expresado por Rivera-Usme et al. (2013), se puede afirmar que la calidad del agua del río Maguaca afecta negativamente la cantidad de O₂D en el río Yuna, debido a que el O₂D en este río disminuye cuando recibe el aporte de caudal del río Maguaca. Al comparar el comportamiento espacial de las variables de los MIB con el O₂D, se observa que la abundancia de MIB es mayor donde hay más O₂D (Figura 4). Esto, de igual modo, es corroborado por Ampuero-León (2018), cuando relaciona los macroinvertebrados con la cantidad de O₂D, registrando una correlación positiva entre estas variables. Espinoza (2017), afirma que la DBO es un gran indicador de la cantidad de O₂D utilizado por algunas bacterias para descomponer la materia orgánica. Además, es considerada como un contaminante orgánico del agua. Según Peña et al. (2015), la remoción de la demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos totales suspendidos son prácticas que se pueden realizar en aprovechamientos mineros para ayudar a mantener la calidad del agua y, por ende, la vida que en ella se desarrolla. Por otra parte, Medina (2013) asevera que los vertidos mineros afectan la demanda

química de oxígeno (DQO) y la calidad de agua, por haber encontrado diferencia estadística significativa en el análisis de dos muestras tomadas antes y después de un vertido minero en la zona norte del Chocó biogeográfico, Quindío, Colombia; y que al presentar una DQO más alta que la DBO, la contaminación tiene más un origen inorgánico. En ese sentido, se puede inferir que la contaminación del río Maguaca puede tener dicho origen por cuanto la concentración de DQO registrada fue mayor que la del DBO. Bajo esa línea, Pascal (2019) concluye que el monitoreo de la DQO es fundamental para el monitoreo del vertido de aguas residuales que influyen en la calidad del agua.

Biomonitoreo de la calidad del agua con macroinvertebrados bentónicos

El comportamiento espacial de las variables macroinvertebrados bentónicos, es presentado en la Figura 5. Comparando el comportamiento de los MIB en diciembre 2020 y febrero 2021, se observa que, a diferencia de una ligera mejoría observada en febrero 2021, no hay grandes diferencias en los tiempos de muestreo. En la parte alta de la subcuenca del río Maguaca el agua presenta una condición crítica, y muy crítica en la parte baja a partir de la zona de influencia minera (Figura 5). Las comunidades de macroinvertebrados son los mejores bioindicadores de contaminación acuática, debido a que son muy abundantes, se encuentran en prácticamente todos los ecosistemas de agua dulce y su recolección es simple y de bajo costo (Gamboa et al., 2008). Las poblaciones de MIB son afectadas por alteraciones medioambientales que inciden en su desarrollo. Dichas alteraciones se pueden identificar de manera espacial (Pezo, 2018).

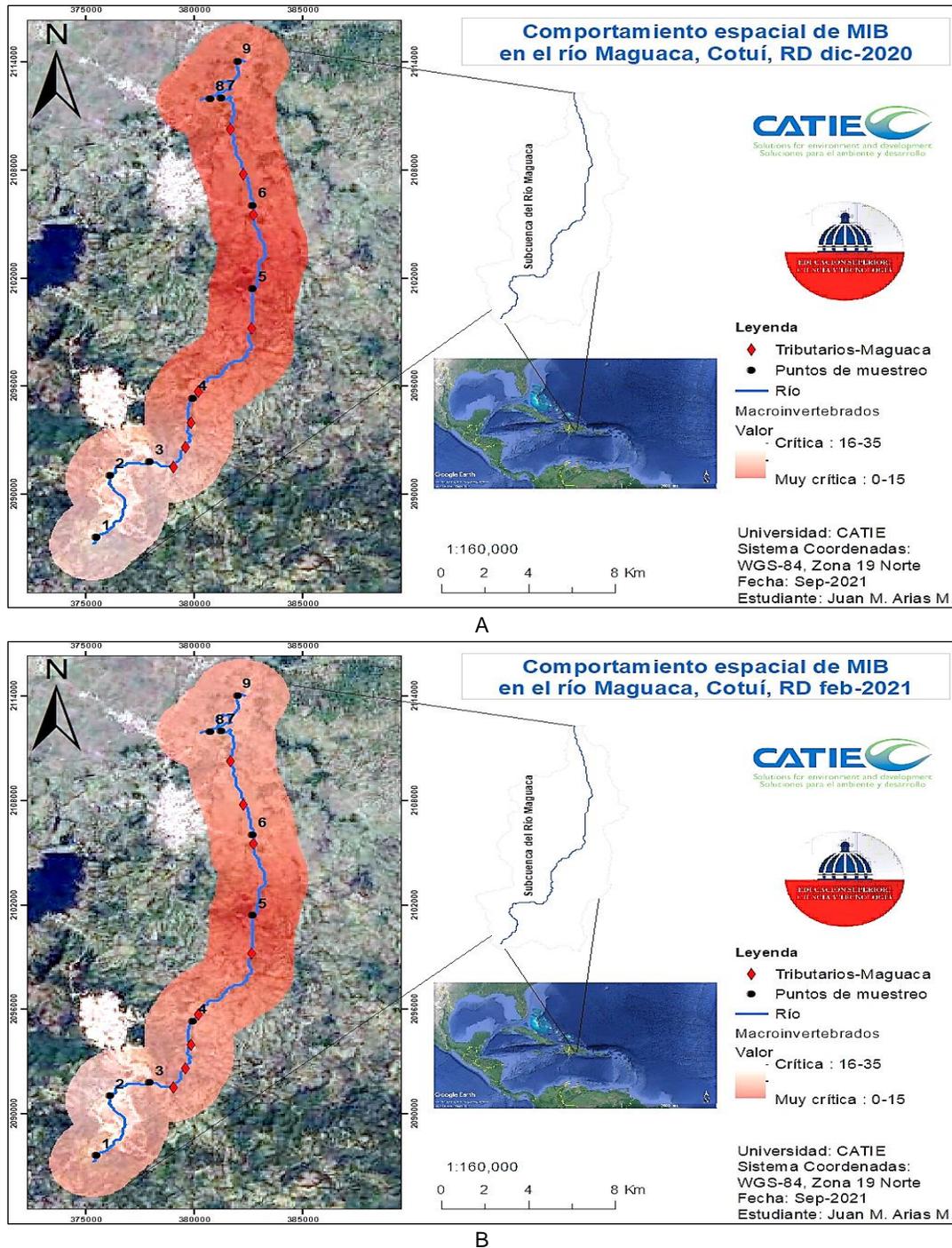


Figura 5. Comportamiento espacial de las variables macroinvertebrados bentónicos: A. Diciembre 2020. B. Febrero 2021.

En diciembre 2020, en el río Maguaca y Yuna se encontraron 10 órdenes y ocho familias de MIB, con un puntaje de tolerancia promedio de 3.9 y 14.3 respectivamente. En febrero 2021, se encontraron nueve órdenes y 15 familias con un puntaje de tolerancia promedio de 3.9 y 15.6 respectivamente. En los PM 1 y 2, ubicados antes de la planta de tratamiento de aguas residuales, y 3, justamente paralelo a ella, se encontraron los órdenes:

Megalóptera de la familia *Coridalidae*, con valoración de diez puntos debido a que tolera poca contaminación en el agua, y *Trichóptera* de la familia *Hidrobiocidae*, de mayor valoración por ser más susceptibles a diferentes contaminantes. Los órdenes *Díptera* y *Mollusca* de las familias *Chironomidae* y *Thiaridae* fueron los de menor valoración y se encontraron en todos los PM, es decir, estos órdenes toleran mejor la contaminación del agua (Tabla 1). La orden coleóptera fue el más abundante.

Tabla 1. Valoración de puntos de muestreo por presencia de órdenes de MIB.

Órdenes/tiempos	Puntos de muestreo									Total/órdenes
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Momento uno	22	23	17	13	11	12	8	13	10	129
<i>Coleóptera</i>	4		4	4	4	4	4	8	8	40
<i>Crustácea</i>	5									5
<i>Díptera</i>		2		2				2	2	8
<i>Ephemeroptera</i>		5				5				10
<i>Hemíptera</i>			4							4
<i>Megalóptera</i>	6									6
<i>Mollusca</i>	3	3	3	3	3	3		3		21
<i>Odonata</i>	4	4	6	4	4		4			26
<i>Trichóptera</i>		9								9
Momento dos	19	22	18	17	11	15	8	18	13	141
<i>Coleóptera</i>	4	4		8	4	8	4	8	8	48
<i>Crustácea</i>	5									5
<i>Díptera</i>			2	2				2	2	8
<i>Ephemeroptera</i>		5						5		10
<i>Hemíptera</i>		4								4
<i>Megalóptera</i>	6									6
<i>Mollusca</i>		3	3	3	3	3		3	3	21
<i>Odonata</i>	4	6	4	4	4	4	4			30
<i>Trichóptera</i>			9							9
Total puntos de muestreo	41	45	35	30	22	27	16	31	23	270

Mosquera-Restrepoy y Peña-Salamanca (2019), realizando un análisis de correspondencia canónica en su trabajo *Ensamblaje de los MIB y su relación con parámetros fisicoquímicos*, demostraron que el desarrollo de los macroinvertebrados acuáticos se ve afectado por la turbidez del agua, por lo que el descenso de los MIB, experimentado a partir de la zona de influencia de la mina, se puede deber al incremento en la turbidez y al consabido tratamiento con cal que, a su vez, tiene efectos sobre el pH del agua, como lo expresa Tejada (2017), cuando explica que la cal se usa para alcalinizar el pH y disminuir la turbidez.

Estructura vegetal riparia del río Maguaca

En sentido general, se observó una disminución de la vegetación desde la parte alta a la parte baja de la subcuenca del río Maguaca, guardando similitud con el comportamiento de los MIB: en los PM 1, 2 y 3, se observaron árboles jóvenes de estrato medio, con tres estratos de bosque donde predominan árboles adultos, enredaderas y arbustos pequeños con áreas activas de cultivos y pastos. En el PM 4 se observó un estrato de árboles adultos de especies variadas entre 20 y 30 metros de altura y otro interior de arbustos y enredaderas. En el punto PM 5 gramíneas, árboles adultos dispersos y algunos cultivos. En el PM 6 pastos menores dedicados a ganadería, poca presencia de árboles adultos con algunos bambúes. En el PM7 se

encontró arbustos dispersos, pastos escasos y abundantes cultivos de musáceas. En PM 8 y PM 9 bambúes, pastizales y pastos menores. Según lo encontrado por Meza et al. (2012) en un estudio sobre la presencia de macroinvertebrados en lugares con diferente estado de vegetación, la flora ribereña tiene influencia directa sobre la existencia de los MIB. Esta también es considerada como un indicador útil de la calidad ambiental, por lo que se toma en cuenta cuando se trabaja la planificación y ordenamiento territorial a nivel de cuenca (Carrasco et al., 2014).

CONCLUSIONES

En relación a las propiedades físico químicas del agua, el punto de la zona de influencia de la mina afecta la gran mayoría de los valores de la variables fisicoquímicas medidas en el agua de la confluencia de los ríos Maguaca y Yuna, en el municipio de Cotuí, República Dominicana: por ejemplo, la turbidez aumenta, el oxígeno disuelto disminuye, y la demanda biológica de oxígeno aumenta por su paso por la mina, tal como ha sido documentado para los vertidos mineros que afectan negativamente la calidad de las aguas donde se vierten. Esto permite concluir que la zona minera afecta la calidad del agua en los momentos t1 y t2.

En calidad de agua y macroinvertebrados, se concluye que una reducción de la calidad de agua, genera una

disminución de estos organismos en el agua en el punto de la zona de influencia de la mina, donde la mala calidad del agua dificulta su establecimiento. Se obtuvo agua de calidad crítica (muy contaminada) en la parte alta y muy crítica (fuertemente contaminada) en la parte baja del río Maguaca en ambos tiempos, afectando al río Yuna como uno de sus tributarios. Especialmente, los hallazgos de contaminación críticos a muy críticos suceden a partir de la zona de influencia de la mina.

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 Víctor Camilo Pulido Blanco por su apoyo en la redacción del documento.

BIBLIOGRAFÍA

- Ampuero-León, AA. 2018. Relación del pH y oxígeno disuelto de fondo con la distribución de los bentos calcificantes de la plataforma centro – norte peruano: Relaciones entre el macro bento calcificante y los parámetros abióticos a nivel específico (en línea). Maestro en Ciencias de Mar. Lima, Perú, Universidad Peruana Cayetano Heredia, 201p. Consultado 12 jul. 2023. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12866/3583>
- Aumassanne, C; Fontanella, D. 2015. Variaciones en la conductividad eléctrica del agua para riego en la cuenca del río Colorado, Argentina. En Congreso Nacional del Agua. 25. CONAGUA 2015. 2015 06 15-19, 15 al 19 de junio de 2015. Paraná, Entre Ríos, Argentina.
- Balzarini, MG; González, LA; Tablada, EM; Casanoves, F; Di Rienzo, JA; Robledo, CW. 2016. Manual del Usuario, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.
- Bello, OC; López Del Castillo, P; Trapero, AD; Suárez, Y; Neyra, B; Hernández, M. 2017. Macroinvertebrados dulceacuicolas (en línea). En Diversidad Biológica de Cuba: métodos de inventario, monitoreo y colecciones biológicas (C. A. Mancina y D. D. Cruz, Eds.). Editorial AMA, La Habana. Consultado 05 may. 2023. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/326065744_MACROINVERTEBRADOS_DULCEACUICOLAS
- Carrasco, S; Hauenstein, E; Peña-Cortés, F; Bertrán, C; Tapia, J; Vargas-Chacoff, L. 2014. Evaluación de la calidad de vegetación ribereña en dos cuencas costeras del sur de Chile mediante la aplicación del índice QBR, como base para su planificación y gestión territorial (en línea). Gayana. Botánica, 1(71):1-9. Consultado 11 feb. 2023. Disponible en https://revistas.udec.cl/index.php/gayana_botanica/articulo/view/3829/3758
- Casanova, R; Ortiz, MZ; Latandret-Solana, S; Zorrilla, DG; Suárez-Vargas, N; Illera, CA. 2019. Comportamiento espacial de algunas variables fisicoquímicas en el pacífico colombiano durante el crucero oceanográfico cuenca pacífica colombiana CPC XLIX (en línea). Boletín Científico CIOH, 38(1):13-30. Consultado 15 mar. 2023. Disponible en https://aquadocs.org/bitstream/handle/1834/41364/dimarr_2215-9045_2019_boletincioh_038_013-030_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- De León, RO. 2012. Agua potable y saneamiento en la República Dominicana. Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS) and Foro Consultivo Científico y Tecnológico (FCCyT). Diagnóstico del agua en las Américas, Contaminación de las aguas por las operaciones mineras. 421-435. ISBN: 978-607-9217-4
- Durango, YA. 2020. Articulación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) con la Responsabilidad Social Empresarial (RSE) en el sector minero en Colombia (en línea). Consultado 23 mar. 2023. Disponible en <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/34213>
- Espinoza, AE. 2017. Disminución de la DBO, DQO y STD del agua residual domestica de Santiago de Chuco empleando un biofiltro de piedra pómez (en línea). Tesis, Trujillo. Universidad César Vallejo. Consultado 16 mar. 2023. Disponible en https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/6776/espinoza_z_a.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gamboa, M; Reyes, R; Arrivillaga, J. 2008. Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental (en línea). Boletín de Malariología y Salud Ambiental, 48(2):109-120. Consultado 25 jul. 2023. Disponible en https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1690-46482008000200001
- González, M; García, D. 2010. Índice de Calidad Ribereña (RQI): Una metodología para caracterizar y Evaluación de las condiciones ambientales de las zonas ribereñas (en línea). Revista Limnetica. Asociación Ibérica de Limnología 30(2):230-254. Consultado 11 sept. 2023. Disponible en https://www.academia.edu/101847969/Riparian_Quality_Index_RQI_A_methodology_for_characterising_and_assessing_the_environmental_conditions_of_riparian_zones?uc-sb-sw=44052787
- Hahn-Von, CM; Toro, DR; Grajales-Quintero, A; Duque-Quintero, GM; Serna-Urbe, L. 2010. Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos, en la estación piscícola (en línea). Universidad de Caldas. ISSN 0123 - 3068.
- Hernández, RJ. 2015. Diseño, implementación y calibración de un medidor de salinidad para agua: Antecedentes y motivación (en línea). Ingeniería Electrónica Industrial 78 (3):7808. Consultado 11 jun. 2023. Disponible en <https://repositorio.ual.es/handle/10835/6428>
- Holdridge, LR. 1967. Life zone ecology. San José, Costa Rica, Tropical Science Center. 206 p.
- Machado, H. 2010. Agua y minería transnacional. Desigualdades hídricas e implicaciones biopolíticas (en línea). Revista Proyección N°9, 4(2):75-104. Consultado 11 nov. 2023. Disponible en https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/11235/04machado-proyeccion9.pdf
- Martínez, E; Castillo, R; Reyes, L; de León, P; Salcedo, L. 2019. Calidad del agua en la república dominicana (en línea). Calidad del Agua en las Américas, 560. Consultado 08 feb. 2023. 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

- Mata-Fernández, I; Rodríguez-Gamiño, ML; López-Blanco, J; Vela-Correa, G. 2014. Dinámica de la salinidad en los suelos (en línea). *Revista Digital del Departamento El Hombre y su Ambiente*, 1(5):26-35.
- Medina, FM. 2013. Influencia de los vertimientos mineros sobre las características fisicoquímicas del agua de cuatro fuentes hídricas de la zona norte del Chocó Biogeográfico (en línea). *Bioetnia* 28(31):1-9. Consultado 16 mar. 2023. Disponible en <https://bioetnia.iiap.org.co/index.php/bioetnia/article/view/121>
- Meza, A; Rubio, J; Lucimar, G; Jeymy, M. 2012. Calidad de agua y composición de macroinvertebrados acuáticos en la subcuenca alta del río Chinchiná (en línea). *Caldasia* 2 (34):443-456. Consultado 11 sept. 2023. Disponible en <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/39163/46608>
- Moreno, AC. 2020. Análisis de calidad de agua y fuentes de contaminación del arroyo Yerba Buena en Jarabacoa, República Dominicana (en línea). Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza – CATIE. Consultado 15 jun. 2023. Disponible en <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/9825>
- Mosquera-Restrepo, D; Peña-Salamanca, EJ. 2019. “Ensamblaje” de macroinvertebrados acuáticos y su relación con variables fisicoquímicas en un río de montaña en Colombia (en línea). *Revista de Biología Tropical* 67(6):1235-1246. Consultado 16 feb. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.15517/rbt.v67i6.30842>
- ONE, 2016. Oficina nacional de estadística. Sistema estadístico nacional de la República Dominicana (en línea). Consultado 05 mar. 2023. Disponible en <https://one.gob.do/publicaciones/2016/>
- Ovalles, U; Pablo, J. 2011. Identificación de las causas de la deforestación y la degradación de los bosques en la República Dominicana (en línea). Programa REDDCCAD/GIZ en Centroamérica y RD. 25 (85). Consultado 09 mar. 2023. Disponible en <https://www.forestcarbonpartnership.org/system/files/documents/Informe%20final%20Causas%20Deforestacion%20Rep.%20Dominicana%2005.09.11.pdf>
- Pascal, AC. 2019. Predicción del comportamiento de la DBO5, DQO, SST, N. y P. totales en planta piloto mediante minería de datos (en línea). Ingeniero Sanitario. Universidad Distrital Francisco José De Caldas. 6 (71). Consultado 06 jun. 2023. Disponible en <http://hdl.handle.net/11349/22206>
- 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. 3Facultad de Ciencias de la Salud (CIMAD). Universidad de Manizales. Manizales. Colombia. ISSN 2145-6097
- Pérez, A; Céspedes, C; Almonte, I; Sotomayor, D; Cruz, CE; Núñez, PA. 2012. Evaluación de la calidad del suelo explotado para la minería después de diferentes sistemas de manejo (en línea). *Terra Latinoamericana*, 30(3). Consultado 06 mar. 2023. Disponible en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792012000300201
- Pezo, MG. 2018. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua para regadío del río Cumbaza: Macroinvertebrados acuáticos. Tarapoto, Perú, Universidad Nacional de San Martín.
- Posada-García, JA; Abril-Ramírez, G; Parra-Sánchez, LN. 2008. Diversidad de los macroinvertebrados acuáticos del páramo de Frontino (Antioquia, Colombia) (en línea). *Caldasia* 30(2):441-455. Consultado 05 feb. 2023. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/cal/v30n2/v30n2a11.pdf>
- Rivera-Usme, JJ; Pinilla-Agudelo, GA; Rangel-Ch, JO. 2013. Ensamblaje de macroinvertebrados acuáticos y su relación con las variables físicas y químicas en el humedal de jaboque-colombia (en línea). Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Consultado 25 feb. 2023. Disponible en <https://www.jstor.org/stable/90008351>
- Roldán-Pérez, G. 2016. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica (en línea). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (ACCEFYN)* 40(155):254-274. Consultado 16 mar. 2023. Disponible en <https://raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/335/208>
- Sampognaro, L. 2018. Determinantes metabólicos de la relación entre densidad y tamaño corporal del Plancton: Caracterización ambiental (en línea). Universidad de la República Uruguay, Centro Universitario Regional Este, Uruguay. 90(34). Consultado 09 oct. 2023. Disponible en <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/19433/1/uy24-19054.pdf>
- Sánchez-Rosario, A; Bastardo, RH. 2021. Confirmación de la presencia de *Progomphus integer* (Odonata: Gomphidae) en República Dominicana (en línea). *Novitates Caribaea* (17):184-186. Consultado 22 abr. 2023. Disponible en <https://doi.org/10.33800/nc.vi17.253>
- Tejada, R. 2017. Tratamiento y sedimentación de la turbidez con cal en las aguas residuales de los relaves mineros de la unidad operativa minera Santiago b: Remoción de la turbidez utilizando CaO para una dosis óptima. Bach. Puno, Perú. UNA. 122 p.

Artículo recibido en: 20 de noviembre del 2023

Aceptado en: 15 de abril del 2024