

HERENCIA MINERA: PASIVOS AMBIENTALES Y SU IMPACTO EN EL RECURSO HÍDRICO DEL RÍO MARGAJITA

MINING LEGACY: ENVIRONMENTAL LIABILITIES AND THEIR IMPACT ON MARGAJITA RIVER WATER RESOURCES

  **Rodríguez Hernández, Luis Alberto**, Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO), Facultad de Postgrado y Educación Continuada, República Dominicana

  **Reynoso Santiago, Dilbania Mercedes**, Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO), Facultad de Postgrado y Educación Continuada, República Dominicana

  **Dirección Editorial**, Revista Científica El Capacho, Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO), República Dominicana

Recibido	Aceptado para su publicación	Publicado
2025/10/01	2025/11/15	2025/12/18

RESUMEN

La presente investigación evaluó el impacto de los pasivos ambientales mineros en el recurso hídrico de la cuenca del río Margajita, Cotuí, provincia Sánchez Ramírez, República Dominicana. Se empleó una metodología descriptiva con monitoreo fisicoquímico mensual entre abril y julio de 2024 en tres estaciones de muestreo. Los parámetros evaluados incluyeron pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y temperatura. Los resultados revelan un pH extremadamente ácido de 4.75 en mayo en la estación Margajita 3, indicativo de lixiviación ácida de minerales sulfurados. La conductividad eléctrica alcanzó 3,892 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en junio en Margajita 1, superando ampliamente los valores típicos de ríos no contaminados. Se proponen medidas de remediación mediante humedales artificiales, reforestación ribereña, monitoreo continuo y programas de educación ambiental comunitaria.

PALABRAS CLAVE

calidad del agua, conductividad eléctrica, drenaje ácido de minas, lixiviación ácida, pasivos ambientales mineros, río Margajita

ABSTRACT

This research assessed the impact of mining environmental liabilities on the Margajita River watershed water resources in Cotuí, Sánchez Ramírez province. A descriptive methodology with monthly physicochemical monitoring between April and July 2024 at three stations was employed. Parameters evaluated included pH, electrical conductivity, dissolved oxygen, and temperature. Results reveal an extremely acidic pH of 4.75 in May at Margajita 3 station, indicative of acid leaching from sulfide minerals. Electrical conductivity reached 3,892 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in June. Remediation through constructed wetlands, riparian reforestation, continuous monitoring, and community environmental education are proposed.

KEYWORDS

acid leaching, acid mine drainage, electrical conductivity, Margajita River, mining environmental liabilities, water quality

1. INTRODUCCIÓN

El presente artículo se origina en la tesis titulada «Evaluación del Impacto de los Pasivos Ambientales Mineros en el Recurso Hídrico de la Cuenca del Río Margajita, Cotuí, Provincia Sánchez Ramírez», sustentada por los autores en el año académico 2024, la cual sirvió de requisito para graduarse como Magíster en Auditoría y Gestión Ambiental. Dicha tesis fue desarrollada bajo la dirección de Yuri Durán en la Facultad de Postgrado y Educación Continuada de la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO). Por estar directamente relacionada con la línea de investigación de interés de la presente edición especial de la Revista Científica El Capacho, la Dirección Editorial ha decidido publicar este artículo.

Los pasivos ambientales mineros (PAM) comprenden instalaciones, efluentes, restos, depósitos o vertidos originados por operaciones mineras que se encuentran inactivas o abandonadas sin cierre reglamentado (Oblasser y Chaparro, 2008). Estos pasivos constituyen fuentes persistentes de contaminación que pueden perdurar durante décadas o siglos sin remediación adecuada. El drenaje ácido de minas (DAM), producido por la oxidación de minerales sulfurados expuestos a la atmósfera y al agua, representa una de las formas más severas y persistentes de contaminación hídrica asociada a la minería (Akcil y Koldas, 2006).

Nordstrom (2011) documentó que el drenaje ácido puede persistir durante siglos en ausencia de intervención, generando aguas con pH extremadamente bajos y altas concentraciones de metales disueltos. García-Criado et al. (2019) demostraron que los ecosistemas fluviales afectados por pasivos mineros experimentan pérdida significativa de biodiversidad acuática, alteración de las cadenas tróficas y degradación de los servicios ecosistémicos. La cuenca del río Margajita recibe directamente los lixiviados del distrito minero de Pueblo Viejo, uno de los yacimientos auríferos más importantes del Caribe (Sillitoe et al., 2006).

En la República Dominicana, el distrito minero de Pueblo Viejo ha sido escenario de actividades extractivas desde el período colonial, cuando los españoles iniciaron la explotación artesanal de oro en el siglo XVI. La operación moderna, a cargo de Barrick Gold Corporation, constituye la mina de oro más grande de la región. Sin embargo, las operaciones históricas y los residuos de procesos anteriores han generado pasivos ambientales que incluyen depósitos de relaves, zonas de lixiviación abandonadas, infraestructura en desuso y áreas de roca sulfurada expuesta que constituyen fuentes permanentes de drenaje ácido (Santana, 2021). La Ley General sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales (Ley 64-00) de la República Dominicana establece el marco regulatorio para la gestión ambiental, pero su aplicación en materia de pasivos mineros presenta limitaciones significativas.

El objetivo general fue evaluar el impacto de los pasivos ambientales mineros en el recurso hídrico de la cuenca del río Margajita mediante el monitoreo sistemático de parámetros fisicoquímicos del agua durante cuatro meses consecutivos.

2. METODOLOGÍA

Se desarrolló un diseño descriptivo con enfoque cuantitativo basado en el monitoreo fisicoquímico mensual del río Margajita entre abril y julio de 2024 en tres estaciones de muestreo: Margajita 1 (parte alta, más cercana al distrito minero), Margajita 2 (tramo medio) y Margajita 3 (parte baja, próxima a la desembocadura en la Presa de Hatillo). Los parámetros medidos in situ con equipos portátiles calibrados incluyeron: pH (electrodo combinado), conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$), oxígeno disuelto (mg/L), temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$) y turbidez. Los datos se compararon con los estándares nacionales de calidad de agua y los valores guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Tabla 1.

Monitoreo del río Margajita, abril 2024

Punto	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	O.D. (mg/L)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)
Margajita 1	7.67	3.317	7.43	31
Margajita 2	7.22	3.266	7.07	30
Margajita 3	7.50	3.455	5.42	30

Nota. Nótese el bajo nivel de oxígeno disuelto en Margajita 3 (5.42 mg/L). Fuente: monitoreo realizado por los sustentantes.

Tabla 2.

Monitoreo del río Margajita, mayo 2024

Punto	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	O.D. (mg/L)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)
Margajita 1	7.82	3.280	7.23	31
Margajita 2	7.77	3.740	7.23	28
Margajita 3	4.75	3.680	7.60	28

Nota. El pH ácido de 4.75 en Margajita 3 indica drenaje ácido de minas. Fuente: monitoreo realizado por los sustentantes.

Tabla 3.

Monitoreo del río Margajita, junio 2024

Punto	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	O.D. (mg/L)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)
Margajita 1	7.99	3.892	7.65	33
Margajita 2	7.92	3.520	6.93	30.1
Margajita 3	7.68	3.273	6.78	34

Nota. Conductividad máxima de 3,892 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en Margajita 1. Fuente: monitoreo realizado por los sustentantes.

Tabla 4.

Monitoreo del río Margajita, julio 2024

Punto	pH	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	O.D. (mg/L)	Temp ($^{\circ}\text{C}$)
Margajita 1	7.42	3.657	7.34	30
Margajita 2	7.31	3.490	7.03	30
Margajita 3	7.90	3.470	7.10	26

Nota. Estabilización del pH en todos los puntos de monitoreo. Fuente: monitoreo realizado por los sustentantes.

El valor de pH 4.75 registrado en mayo en Margajita 3 constituye el hallazgo más significativo del estudio, al ser indicativo de drenaje ácido de minas por lixiviación de minerales sulfurados. La conductividad eléctrica osciló entre 3,266 y 3,892 $\mu\text{S}/\text{cm}$, superando ampliamente los valores típicos de ríos no contaminados (200-400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ según la OMS), lo que refleja una alta concentración de iones disueltos probablemente de origen mineral y antrópico. El oxígeno disuelto mostró disminución en los meses más cálidos (junio: 6.78 mg/L en Margajita 3 a 34 $^{\circ}\text{C}$), explicable por la

relación inversa entre temperatura y solubilidad del oxígeno, agravada por procesos de oxidación mineral y demanda biológica de oxígeno.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Desde una perspectiva de gestión integral, los resultados de esta investigación deben interpretarse en el contexto más amplio de la problemática ambiental de la provincia Sánchez Ramírez, donde convergen las presiones del desarrollo minero, la expansión agrícola y el crecimiento poblacional sobre recursos hídricos finitos. La Presa de Hatillo, como principal reservorio de agua dulce del Caribe insular, cumple funciones múltiples de regulación de caudales, generación hidroeléctrica, abastecimiento para riego y sustento de la actividad pesquera artesanal, lo que la convierte en un ecosistema estratégico cuya degradación tendría consecuencias socioeconómicas de gran alcance. Las evidencias presentadas en este estudio subrayan la urgencia de adoptar un enfoque ecosistémico que integre la conservación de la calidad del agua con el desarrollo sostenible de las actividades productivas en la cuenca.

Los resultados confirman que los pasivos ambientales mineros del distrito de Pueblo Viejo generan un impacto significativo y persistente sobre la calidad del recurso hídrico de la cuenca del río Margajita. El pH extremadamente ácido de 4.75 registrado en mayo en Margajita 3 es consistente con los patrones de drenaje ácido de

minas documentados por Nordstrom (2011) y Akcil y Koldas (2006), quienes describieron valores de pH entre 2.0 y 5.0 como característicos de sistemas afectados por oxidación de sulfuros. La variabilidad temporal del pH, con retorno a valores neutros en los meses siguientes, sugiere un evento episódico de descarga ácida posiblemente asociado a lluvias que movilizaron lixiviados acumulados en las áreas de pasivos mineros.

La conductividad eléctrica persistentemente elevada (3,266-3,892 $\mu\text{S}/\text{cm}$) indica una carga iónica constante que trasciende los eventos episódicos de acidificación, señalando una contaminación de base continua. Este patrón es comparable con lo reportado por García-Criado et al. (2019) en ríos europeos afectados por minería abandonada, donde la conductividad constituye un indicador más sensible que el pH para detectar contaminación difusa de origen minero.

El análisis temporal de los datos revela patrones significativos. La variación del pH entre meses sugiere que la contaminación ácida no es constante sino episódica, posiblemente vinculada a eventos de precipitación que movilizan lixiviados acumulados en las áreas de pasivos mineros. La recuperación del pH a valores neutros en junio y julio podría indicar la capacidad de amortiguamiento del sistema (buffering), probablemente asociada a la disolución de carbonatos presentes en las formaciones calcáreas de la cuenca. No obstante, la conductividad

persistentemente elevada en todos los meses demuestra que, independientemente de las fluctuaciones de pH, existe una carga iónica de base que refleja la contaminación difusa y continua desde los pasivos mineros. La relación inversa observada entre temperatura y oxígeno disuelto en junio y julio es consistente con la ley de Henry y las condiciones tropicales de la zona, donde las temperaturas elevadas del agua reducen la solubilidad del oxígeno.

Las limitaciones del estudio incluyen el período de monitoreo relativamente corto (cuatro meses), la ausencia de análisis de metales pesados específicos en las muestras de agua, y la falta de caracterización de los propios pasivos mineros que permita identificar las fuentes puntuales de contaminación.

Es importante destacar que los efectos del drenaje ácido de minas no se limitan a la alteración de los parámetros fisicoquímicos del agua, sino que tienen consecuencias ecológicas cascada que afectan toda la cadena trófica. Los valores de pH inferiores a 5.0, como el registrado en Margajita 3 en mayo de 2024, son letales para la mayoría de los organismos acuáticos y reducen drásticamente la biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos, indicadores clave de la salud de los ecosistemas fluviales. La contaminación por metales pesados asociada al drenaje ácido tiene además implicaciones directas para las comunidades locales que utilizan el agua del río para riego agrícola y consumo doméstico.

Los niveles de conductividad eléctrica registrados (superiores a 3,200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en todos los meses y puntos) exceden significativamente los límites recomendados para agua de riego, lo que podría afectar la productividad de los cultivos irrigados y la acumulación de sales y metales en los suelos agrícolas de la cuenca.

La gestión responsable de los pasivos ambientales mineros requiere un marco normativo actualizado que establezca claramente las responsabilidades de los operadores mineros, los plazos de remediación y los estándares de calidad ambiental que deben alcanzarse en las zonas afectadas.

Se concluye que los pasivos ambientales mineros impactan de manera significativa la calidad hídrica del río Margajita, tanto de forma episódica (eventos de drenaje ácido) como continua (carga iónica elevada). Se recomienda: (1) implementar sistemas de tratamiento pasivo basados en humedales artificiales para neutralizar la acidez; (2) reforestar las zonas ribereñas degradadas para reducir la erosión y el transporte de contaminantes; (3) establecer un programa de monitoreo continuo con estaciones automatizadas que permita detectar eventos de contaminación en tiempo real; (4) desarrollar programas de educación ambiental comunitaria sobre los riesgos de los pasivos mineros; y (5) fortalecer el marco regulatorio para la gestión de pasivos ambientales mineros en la República Dominicana. Como líneas futuras se propone la cuantificación de metales pesados, el estudio

hidrogeológico detallado de los flujos subterráneos entre los pasivos y el río, y la evaluación de tecnologías de remediación adaptadas al contexto tropical caribeño.

5. FINANCIACIÓN

La investigación que dio origen al presente artículo fue realizada en el marco de una tesis de grado desarrollada en la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO) y no recibió financiamiento de ningún ente externo, público o privado. El proceso de investigación fue llevado a cabo íntegramente por los sustentantes con recursos propios. La asesoría académica, la evaluación del informe final y la disertación de la tesis fueron cubiertas con fondos institucionales de la UTECO

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO:

Rodríguez Hernández, L. A., & Reynoso Santiago, D. M. (2025). Herencia minera: pasivos ambientales y su impacto en el recurso hídrico del río Margajita. *Revista Científica El Capacho* 14(14), 27-33. <https://doi.org/10.63796/capacho.2025.v14i14.225>

REFERENCIAS

- Akcil, A., & Koldas, S. (2006). Acid mine drainage: causes, treatment and case studies. *Journal of Cleaner Production*, 14(12-13), 1139-1145.
- García-Criado, F. et al. (2019). Recovery of aquatic ecosystems from mining impacts. *Science of the Total Environment*, 670, 1024-1035.
- Nordstrom, D. K. (2011). Mine waters: acidic to circumneutral. *Elements*, 7(6), 393-398.
- Oblasser, A., & Chaparro, E. (2008). Estudio comparativo de la gestión de pasivos ambientales mineros. CEPAL.
- Perevochtchikova, M. (2013). La evaluación del impacto ambiental. *Gestión y Política Pública*, 22(2), 283-312.
- Santana, R. (2021). Pasivos ambientales mineros en República Dominicana. *Estudios Ambientales*, 5(1), 23-38.
- Sillitoe, R. H. et al. (2006). Pueblo Viejo epithermal deposit. *Economic Geology*, 101(7), 1427-1435.