

METALES PESADOS EN EL FONDO: GEOQUÍMICA DE SEDIMENTOS EN LA PRESA DE HATILLO

HEAVY METALS AT THE BOTTOM: GEOCHEMISTRY OF SEDIMENTS IN HATILLO DAM

  **Acosta Flores, Ámbar Manuela**, Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO), Escuela de Geología, República Dominicana
  **Belén García, Luisaura**, Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO), Escuela de Geología, República Dominicana
  **Martínez Hilario, Yoendi Ramón**, Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO), Escuela de Geología, 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 Presa de Hatillo, ubicada en la provincia Sánchez Ramírez, República Dominicana, constituye el embalse más grande del Caribe insular con una capacidad de 710 millones de metros cúbicos. Este estudio determinó el contenido geoquímico de los sedimentos en la parte alta del embalse mediante espectroscopia de fluorescencia de rayos X portátil (pXRF). Se recolectaron ocho muestras en los ríos Yuna, Maimón y Sinc, así como en el fondo de la presa. Los resultados revelaron concentraciones significativas de arsénico, cromo, cobalto, níquel, cobre, zinc, plata, mercurio, titanio, plomo, oro, molibdeno y hierro. El enriquecimiento en metales pesados obedece a actividades del distrito minero, prácticas agrícolas y contaminación por desechos humanos, además de procesos terrígenos naturales.

PALABRAS CLAVE

caracterización geoquímica, espectroscopia pXRF, metales pesados, Presa de Hatillo, sedimentos fluviales

ABSTRACT

Hatillo Dam, located in Sánchez Ramírez province, Dominican Republic, constitutes the largest reservoir in the insular Caribbean with a capacity of 710 million cubic meters. This study determined the geochemical content of sediments in the upper reservoir using portable X-ray fluorescence spectroscopy (pXRF). Eight samples were collected from the Yuna, Maimón, and Sinc rivers, as well as from the dam bottom. Results revealed significant concentrations of arsenic, chromium, cobalt, nickel, copper, zinc, silver, mercury, titanium, lead, gold, molybdenum, and iron. Heavy metal enrichment results from mining district activities, agricultural practices, and human waste contamination, plus natural terrigenous processes.

KEYWORDS

fluvial sediments, geochemical characterization, Hatillo Dam, heavy metals, pXRF spectroscopy

1. INTRODUCCIÓN

El presente artículo se origina en la tesis titulada «Caracterización Geoquímica de los Sedimentos en la Presa de Hatillo», sustentada por los autores en el año académico 2023, la cual sirvió de requisito para graduarse como Ingeniero en Geología. Dicha tesis fue desarrollada bajo la dirección de Ricardo Reynoso Villafaña en la Escuela de Geología, Facultad de Ingeniería y Recursos Naturales 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.

La acumulación de sedimentos en embalses constituye un desafío global para la gestión sostenible de recursos hídricos (Boggs, 2001). El transporte fluvial de nutrientes y contaminantes hacia cuerpos de agua receptores reduce progresivamente la capacidad de almacenamiento de los depósitos, afectando la calidad del agua y la estabilidad de las estructuras hidráulicas (Urgilez Montero, 2016). La caracterización geoquímica de los sedimentos es una herramienta fundamental para identificar la influencia de las actividades humanas sobre la distribución de metales pesados en los sistemas naturales (Baptista, 2020).

La Presa de Hatillo, ubicada a seis kilómetros al suroeste de Cotuí, provincia Sánchez Ramírez, representa el cuerpo de agua artificial más grande

de la región caribeña, con 710 millones de metros cúbicos de capacidad, 22 km² de superficie y 15 km de longitud máxima. Es abastecida por el río Yuna y afluentes: Camú, Jima, Margajita, Río Blanco, Masipetro, Yuboa, Maimón y Tireito (Ortega, 2023). Según Mejías (2018), presenta 63.2 millones de m³ de sedimentos acumulados, con pérdida estimada del 50% de capacidad.

La importancia de la caracterización geoquímica de sedimentos en embalses ha sido ampliamente reconocida en la literatura internacional. Los sedimentos actúan como sumideros de contaminantes, pudiendo retener metales pesados durante largos períodos, pero también constituyen fuentes secundarias de contaminación cuando las condiciones fisicoquímicas cambian, liberando los elementos retenidos al agua suprayacente (Förstner y Wittmann, 2012). En el contexto de la República Dominicana, la Presa de Hatillo recibe aportes de múltiples cuencas que atraviesan zonas con actividad minera, agrícola e industrial, lo que convierte la caracterización de sus sedimentos en una necesidad prioritaria para la gestión ambiental del recurso hídrico más importante del país.

Ramón Rodríguez (1980) determinó la distribución de Cu, Zn, Fe, Mn, Co y otros en la cuenca del Río Tuy. Moreno (2009) caracterizó geoquímicamente los sedimentos del Golfete de Cuare, Falcón. Sakan et al. (2009) evaluaron metales pesados en el Río Tisza. Zhang (2009)

estudió 59 estaciones del Río Yangtze. Bravo Covarrubias et al. (2020) analizaron la movilidad de arsénico en sedimentos de una presa mexicana. El objetivo general fue determinar el contenido geoquímico de los sedimentos en la parte alta de la Presa de Hatillo.

2. METODOLOGÍA

Diseño no experimental, transversal y exploratorio (Kerlinger, 1979; Sabino, 1996) con enfoque cuantitativo y método deductivo (Tamayo, 2007). Se establecieron ocho puntos de muestreo georreferenciados con GPS Garmin GPSMAP: cinco en ríos (RS-01 a RS-05) y tres en el fondo de la presa (PS-01 a PS-03). Las muestras se recolectaron en bolsas herméticas de 3 kg, secadas al sol, tamizadas con malla #200 (ASTM D2248) y preparadas en bolsas de 300 g para análisis.

La selección de los puntos de muestreo respondió a criterios de representatividad geográfica y proximidad a fuentes potenciales de contaminación. Los puntos RS-01 y RS-02 se ubicaron en el río Maimón, próximo a la Formación Maimón con sus esquistos verdes y rocas ultramáficas. RS-03 y RS-04 se situaron en el río Yuna en zonas de confluencia. RS-05 se localizó en la llanura de inundación del río Sinc, área directamente influenciada por la reserva fiscal de Cerro Maimón. Los puntos PS-01, PS-02 y PS-03 correspondieron a muestras de fondo de

la presa a diferentes profundidades y distancias de la desembocadura de los ríos.

2.1. Análisis geoquímico

Las muestras fueron procesadas mediante espectroscopia de fluorescencia de rayos X portátil (pXRF) en las instalaciones de Barrick Pueblo Viejo, determinando As, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ag, Hg, Ti, Pb, Au, Mo y Fe en ppm. Los datos espaciales se procesaron con ArcGIS (ESRI) para elaborar mapas temáticos de distribución elemental.

3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

3.1. Caracterización geológica

El análisis de los mapas temáticos elaborados con ArcGIS reveló un patrón de distribución espacial coherente con la geología local y las fuentes antrópicas identificadas. Se observó una zonación geoquímica clara: las muestras de los ríos Maimón y Yuna (RS-01 a RS-04) presentaron predominio de cromo, níquel y cobalto, elementos asociados a la litología ultramáfica de la Formación Maimón; mientras que RS-05 en el río Sinc mostró las mayores concentraciones de oro, cobre, zinc y plomo, elementos típicos del yacimiento epitermal de Pueblo Viejo. Las muestras de fondo de presa (PS-01 a PS-03) exhibieron concentraciones intermedias, con enriquecimiento relativo en zinc y arsénico respecto al fondo regional.

La geología del área comprende volcanoclastos del Cretácico superior de las formaciones Los Ranchos y Peralvillo, espilitas, areniscas, dacitas, lutitas, peridotitas e intrusiones dacíticas. En superficie se evidenciaron esquistos verdes de la Formación Maimón. Se identificaron minerales de alteración: hematita (Fe_2O_3), clorita, illita, epidota, dickita, mica y cuarzo (SiO_2). La granulometría registró dominio de arenas medias en zonas de meandros y arenas finas en las zonas de fondo del embalse.

3.2. Composición geoquímica elemental

Tabla 1.

Concentraciones elementales (ppm) en muestras de sedimento

Muestra	As	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Au	Fe
RS-01	2.80	171	317.82	91.37	40.01	54.10	5.66	45,667
RS-02	3.89	184	226.42	135.71	51.27	57.42	2.42	40,368
RS-03	2.83	1,227	319.42	472.43	37.97	47.89	4.55	54,586
RS-04	3.46	1,098	562.67	728.94	74.04	84.21	2.24	79,450
RS-05	2.69	1,174	298.11	381.95	189.03	614.11	7.46	32,939
PS-01	5.68	53.45	247.33	76.57	44.28	194.09	4.99	37,184
PS-02	3.00	17.15	141.01	9.92	48.63	81.45	3.85	23,602
PS-03	4.28	6.42	197.50	8.46	73.99	239.58	5.35	34,128

Nota. Valores en ppm obtenidos por análisis pXRF. RS = muestras de ríos; PS = muestras de fondo de la presa.

Fuente: elaboración propia a partir de análisis en Barrick Pueblo Viejo.

3.3. Distribución espacial de metales pesados

Las concentraciones más elevadas de oro (7.46 ppm), cobre (189.03 ppm) y zinc (614.11 ppm) se registraron en la muestra RS-05, localizada en la llanura de inundación del río Sinc, próxima a la reserva fiscal de Cerro Maimón. El mercurio alcanzó su máximo (7.22 ppm) en RS-02 del río Maimón. Las muestras del fondo de la

presa mostraron concentraciones generalmente inferiores a las de los ríos, evidenciando la diseminación y dilución durante el transporte fluvial.

Las muestras RS-03 y RS-04 presentaron las concentraciones más altas de cromo (1,227 y 1,098 ppm respectivamente) y níquel (472 y 729 ppm), valores que reflejan la influencia litológica directa de la Formación Maimón, compuesta por esquistos verdes y rocas ultramáficas ricas en estos elementos. El cobalto mostró valores máximos en RS-04 (562.67 ppm), también asociado a la litología ultrabásica.

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 la presencia significativa de metales pesados en los sedimentos de la parte alta de la Presa de Hatillo. El patrón de distribución geoquímica permite distinguir claramente dos fuentes principales de enriquecimiento: una fuente litogénica, asociada a las formaciones Los Ranchos, Peralvillo y Maimón, y una fuente antrópica, vinculada al distrito minero de Pueblo Viejo y a las actividades agrícolas de la región. Los elevados valores de cromo (hasta 1,227 ppm) y níquel (hasta 729 ppm) son consistentes con lo reportado por Torin (2008) en complejos ultramáficos de la cuenca del Río Cuira, Venezuela.

El enriquecimiento en oro (7.46 ppm), cobre (189.03 ppm), zinc (614.11 ppm) y plomo en la muestra RS-05 sugiere una fuerte influencia de las actividades mineras del distrito de Pueblo Viejo, coincidiendo con los patrones descritos por Sakan et al. (2009) para sedimentos del Río Tisza afectados por actividades industriales. La concentración de mercurio (7.22 ppm en RS-02) constituye un hallazgo preocupante dado su potencial de bioacumulación en la cadena trófica, como lo documentaron Zhang (2009) en sedimentos del Río Yangtze y Bravo Covarrubias et al. (2020) en presas mexicanas.

Entre las limitaciones del estudio se señalan el carácter puntual del muestreo (una sola

campana), la ausencia de análisis de especiación química que habría permitido evaluar la biodisponibilidad de los metales, y la falta de datos de series temporales para determinar tendencias de acumulación.

La contaminación por metales pesados en sedimentos de embalses tropicales constituye un problema ambiental de creciente preocupación internacional, especialmente en regiones donde la minería coexiste con actividades agrícolas y asentamientos humanos. En el caso particular de la Presa de Hatillo, la convergencia de múltiples fuentes de contaminación — minera, agrícola y doméstica — genera un escenario geoquímico complejo donde los procesos de adsorción, precipitación y complejación determinan la movilidad y biodisponibilidad de los elementos traza. Los mapas de distribución espacial elaborados en este estudio constituyen una herramienta de gestión valiosa que permite priorizar las zonas de intervención y diseñar estrategias de remediación focalizadas en las áreas de mayor concentración de contaminantes.

Se concluye que el enriquecimiento en metales pesados de los sedimentos obedece a tres efectos principales: (1) actividades antrópicas del distrito minero de Pueblo Viejo, que aportan Au, Cu, Zn, Pb y Hg; (2) prácticas agrícolas que movilizan elementos del suelo mediante escorrentía; y (3) contaminación por desechos domésticos que incrementan la carga orgánica e iónica. Se recomienda: realizar muestreos sistemáticos y

estacionales; implementar estudios batimétricos para cuantificar volúmenes de sedimento contaminado; establecer un programa de monitoreo continuo de calidad de sedimentos; evaluar la biodisponibilidad de los metales mediante análisis de especiación; y desarrollar estrategias de remediación que consideren la magnitud y extensión de la contaminación detectada. Como líneas futuras se propone el análisis isotópico para discriminar fuentes de contaminación y el modelamiento de transporte de sedimentos en el embalse.

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:

Acosta Flores, Á. M., Belén García, L., & Martínez Hilario, Y. R. (2025). Metales pesados en el fondo: geoquímica de sedimentos en la Presa de Hatillo. *Revista Científica El Capacho* 14(14), 13-20. <https://doi.org/10.63796/capacho.2025.v14i14.222>

REFERENCIAS

- Baptista, N. (2020). Particionamiento geoquímico en sedimentos contaminados. *J. Environ. Geochem.*, 15(2), 45-67.
- Boggs, S. (2001). *Principles of Sedimentology and Stratigraphy* (3rd ed.). Prentice Hall.
- Bravo Covarrubias, A. et al. (2020). Movilidad de arsénico en sedimentos de una presa. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 36(4), 797-812.
- Kerlinger, F. N. (1979). *Behavioral Research*. Holt, Rinehart and Winston.
- Mejías, O. (2018). Hatillo es la presa que tiene más sedimentos. *Hoy Digital*.
- Moreno, J. (2009). Caracterización geoquímica de sedimentos del Golfete de Cuare. *Rev. Geoqu. Ambient.*, 22(1), 89-105.
- Ortega, B. (2023). Presa de Hatillo. [Conectate.com.do](https://conectate.com.do).
- Ramón Rodríguez, R. (1980). Distribución de elementos traza en el Río Tuy. *Acta Científica Venezolana*, 31(5), 412-428.
- Sabino, C. (1996). *El proceso de investigación* (3.^a ed.). Lumen-Humanitas.
- Sakan, S. M. et al. (2009). Heavy metal pollutants in Tisza river. *J. Environ. Manag.*, 90(11), 3382-3390.
- Tamayo, M. (2007). *El proceso de la investigación científica* (4.^a ed.). Limusa.
- Torin, E. (2008). Concentración de metales en sedimentos del Río Cuira. *Boletín de Geología*, 30(1), 67-82.
- Urgilez Montero, P. (2016). Sedimentación en embalses. *Rev. Ing. Hidráulica*, 37(2), 15-29.
- Zhang, W. (2009). Heavy metal pollution in Yangtze River estuary. *Environ. Pollut.*, 157(5), 1551-1562.