

Evaluación probabilística del riesgo para la salud por exposición a elementos potencialmente tóxicos en sedimentos afectados por actividades mineras en Panamá (Remance)

Ana Cristina González-Valoys (1,2*), Samantha Jiménez-Oyola (3), José María Esbrí (2,4), Jonatha Arrocha (1), Tisla Monteza-Destro (5), Miguel Vargas-Lombardo (6), Raimundo Jiménez-Ballesta (7), Francisco Jesús García-Navarro (8), Pablo Higuera (2)

(1) Centro Experimental de Ingeniería. Universidad Tecnológica de Panamá, 0819-07289 Panamá (Panamá)

(2) Instituto de Geología Aplicada. Universidad de Castilla-La Mancha, EIMI Almadén. Almadén, 13400 Ciudad Real (España)

(3) Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra. Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Campus Gustavo Galindo, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil (Ecuador)

(4) Departamento de Mineralogía y Petrología. Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, Madrid (España)

(5) Departamento de Geotecnia. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá, Campus Universitario Dr. Víctor Levi Sasso, 0819-07289 Panamá (Panamá)

(6) Facultad de Ingeniería de Sistemas Computacionales. Universidad Tecnológica de Panamá, Campus Universitario Dr. Víctor Levi Sasso, 0819-07289 Panamá (Panamá)

(7) Departamento de Geología y Geoquímica. Universidad Autónoma de Madrid, Ciudad Universitaria de Cantoblanco, 28049 Madrid (España)

(8) Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Ciudad Real. Universidad de Castilla-La Mancha, 13071 Ciudad Real (España)

* corresponding author: ana.gonzalez1@utp.ac.pa

Palabras Clave: Evaluación probabilística, Riesgos a la salud, Elementos potencialmente tóxicos (EPTs), Sedimentos de arroyos, Minería aurífera. **Key Words:** Probabilistic evaluation, Health risks, Potentially toxic elements (PTEs), Stream sediments, Goldmine.

INTRODUCCIÓN

La zona minera de Remance, ubicada en la provincia de Veraguas, Panamá, se encuentra impactada debido al elevado contenido de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) en los sedimentos de los arroyos, representando un riesgo para el ecosistema y la salud de los moradores de la zona.

Un estudio previo, realizado mediante métodos determinísticos, arrojó valores de riesgo mayores al límite de exposición segura debido a la ingesta de sedimentos y al contacto dérmico (González-Valoys et al., 2021); sin embargo, esta metodología no considera la variabilidad de los parámetros de exposición, pudiendo subestimar o sobreestimar los niveles de riesgo para los receptores (Jiménez-Oyola et al., 2021). En este sentido, el objetivo de este estudio es realizar una evaluación probabilística del riesgo para la salud humana debido a la presencia de sedimentos contaminados en los arroyos de Remance, por las vías de exposición de ingestión accidental y contacto dérmico en un escenario recreacional para niños y adultos, de manera que obtengamos valores más fiables de riesgo, mediante una distribución de probabilidad del riesgo en la zona de interés.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio se tomaron 19 muestras de sedimentos superficiales de las Quebradas Veneno, Chitreca, La Máquina y El Toro y El Torno. Las muestras fueron secadas en una estufa a 40 °C, disgregadas y pasadas por un tamiz de luz de 2 mm. 50 gramos de la alícuota <2 mm se molió en un molino de ágata hasta obtener una granulometría <100 µm. Los EPTs fueron analizados por la técnica de fluorescencia de rayos X con energía dispersiva (FRX-ED) en un equipo Malvern Panalytical Epsilon 1. Para el propósito de este estudio, se evaluaron los contenidos de As, Cu y Zn por ser los EPTs que representan un riesgo potencial, al tener altas concentraciones en los sedimentos de los arroyos estudiados.

El riesgo cancerígeno (CR) y no cancerígeno (HQ) se evaluó a través de las vías de exposición de ingestión incidental y el contacto dérmico de sedimentos en un escenario recreacional para adultos y niños, con una frecuencia de exposición (EF) de una distribución triangular 120 (26-260) días/año. Esta evaluación se realizó aplicando técnicas probabilísticas que permiten una mejor estimación de los parámetros que intervienen en la ecuación de riesgo, obteniendo así un rango de posibles valores de HQ y CR. Las distribuciones de probabilidad para los parámetros de exposición fueron tomadas de Jiménez-Oyola et al. (2021). El análisis de riesgo se realizó en el lenguaje de programación R para las rutas de exposición evaluadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La concentración de los elementos considerados es: As (27,6 – 430,0 mg kg⁻¹); Cu (22,4 – 145,6 mg kg⁻¹); y Zn (27,5 – 166,6 mg kg⁻¹). Con respecto a los valores de riesgo, la Figura 1 presenta los resultados del riesgo no cancerígeno (HQ) para el As, Cu y Zn, y riesgo cancerígeno (CR) para el As. Como se puede observar, el riesgo es mayor al límite de exposición seguro solo para niños a través de la ingesta accidental de sedimentos durante las actividades en los arroyos de Remance. El HQ_{ingesta} para niños superó el límite de 1 en el p93, lo que significa que el 7 % de los receptores están expuestos a valores de riesgo mayores al aceptable. Por otro lado, el CR_{ingesta} superó el umbral recomendado de 1×10^{-5} en el p70, indicando que el 30 % de los niños expuestos a los sedimentos contaminados pueden desarrollar efectos cancerígenos como producto de exposiciones prolongadas. Con respecto a la exposición por contacto dérmico, el HQ máximo para niños se encontró en el límite recomendado, por lo que podría representar un riesgo potencial a largo plazo. Por otro lado, el CR_{contacto dérmico}, superó el umbral de exposición segura en el p65 para adultos y niños, respectivamente, indicando un riesgo inaceptable para al menos el 35 % de los receptores.

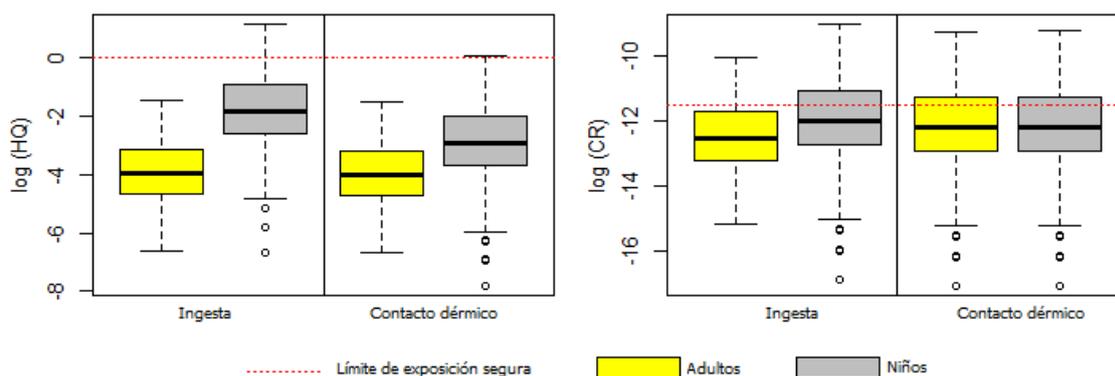


Fig 1. Riesgo no cancerígeno (HQ) y riesgo cancerígeno (CR) para adultos y niños, a través de la ingesta accidental de sedimentos y el contacto dérmico.

CONCLUSIÓN

Debido al riesgo a la salud humana que representan los sedimentos de los arroyos de la Mina de Remance por sus altos contenidos de As, y a su evaluación probabilística, no es recomendable realizar actividades recreativas en los arroyos de la zona, principalmente para los niños, quienes tienen mayor riesgo por la vía de exposición de ingesta accidental y contacto dérmico con los sedimentos.

REFERENCIAS

- González-Valoys, A.C., Esbrí, J.M., Campos, J.A., Arrocha, J., García-Noguero, E.M., Monteza-Destro, T., Martínez, E., Jiménez-Ballesta, R., Gutiérrez, E., Vargas-Lombardo, M., García-Ordiales, E., García-Jiménez, R., García-Navarro, F., Higuera, P. (2021): Ecological and Health Risk Assessments of an Abandoned Gold Mine (Remance, Panama): Complex Scenarios Need a Combination of Indices. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, **18**, 9369. DOI: 10.3390/ijerph18179369.
- Jiménez-Oyola, S., García-Martínez, M.-J., Ortega, M., Chavez, E., Romero, P., García-Garizabal, I., Bolonio, D. (2021): Ecological and probabilistic human health risk assessment of heavy metal(loid)s in river sediments affected by mining activities in Ecuador. *Environ. Geochem. Health.*, **43**, 4459-4474. DOI: 10.1007/s10653-021-00935-w.