

## Exposición a mercurio en trabajadores de una mina de oro en el norte de Colombia

### Exposure to mercury mine workers of gold in northern Colombia

Eliel Doria Mesquidaz<sup>1</sup>, José Marrugo Negrete<sup>1</sup>, Jose Pinedo Hernández<sup>1</sup>

#### Resumen

**Objetivo:** Se evaluó la exposición a mercurio a través de un biomarcador de exposición en una mina de oro en el norte de Colombia.

**Materiales y métodos:** El análisis de Hg – T fue realizado por espectrometría de absorción atómica por vapor frío (CVAAS) en una población de trabajadores de la mina el Alacrán (departamento de Córdoba – Colombia)

**Resultados:** los niveles de Hg – T en orina están alrededor del 3.16 µg/L y 339,15 µg/L. Los altos valores de Hg en orina se debe a la exposición ocupacional de los trabajadores en la mina artesanal de Oro donde se emplea mercurio metálico para la recuperación del metal precioso. El 28,6% de las muestras de los trabajadores de la mina el Alacrán superan las cantidades recomendadas por la Organización Mundial de la Salud (20 µg/L).

**Conclusiones:** Los niveles de mercurio contenidos en las muestras de orina evidencian un riesgo potencial para la salud de los trabajadores de la mina el Alacrán, debido a la exposición ocupacional este metal en el proceso de amalgación del Oro. Con los resultados obtenidos en la presente investigación se busca implementar planes de manejo para la prevención, con miras a reducir los factores de riesgo sobre la salud de las poblaciones residentes en la mina el Alacrán.

**Palabras clave:** orina, mercurio, vapor frío, mina, exposición, ocupacional.

Fecha de recepción: 26 de julio de 2013  
Fecha de aceptación: 11 de septiembre de 2013

<sup>1</sup> Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Química, Grupo de Aguas y Química Aplicada y Ambiental. Montería, Colombia.

**Correspondencia:** Eliel Doria Mesquidaz Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Química, Grupo de Aguas y Química Aplicada y Ambiental. Montería, Colombia. POB: +5747860325 Ext. 261, E-mail: elieldoria@hotmail.com

### Abstract

**Objective:** We evaluated mercury exposure through a biomarker of exposure in a gold mine in northern Colombia.

**Materials and Methods:** Analysis of Hg – T was performed cold vapor atomic absorption spectroscopy (CVAAS) in a population of workers in the mine Alacran (department of Cordoba - Colombia)

**Results:** The levels of Hg - T in urine are around 3.16 µg/L. and 339.15 µg/L. The high values of Hg in urine is due to occupational exposure of workers in artisanal gold mine where metallic mercury is used for the recovery of precious metal. The 28.6% of the samples of the mine workers Alacran exceeded those recommended level by the World Health Organization (20 µg / L).

**Conclusions:** Contained mercury levels in urine samples show a potential risk to the health of the mine workers Alacran due to occupational exposure this metal in the process of amalgamation of Gold With the results obtained in this investigation are seeks to implement management plans for the prevention, aimed at reducing the risk factors on the health of populations living in the mine the Alacran.

**Keywords:** urine, mercury, cold vapor, mine, exposure, occupational.

## INTRODUCCIÓN

El mercurio (Hg) es considerado uno de los elementos más tóxicos que afectan la salud humana y los ecosistemas debido a su toxicidad; es liberado al medio ambiente tanto de fuentes antropogénicas y naturales (1). En los últimos años las actividades humanas han contribuido a elevar significativamente las emisiones de mercurio. Más de 2500 toneladas de mercurio se emiten anualmente de fuentes antropogénicas globales (2). Las fuentes principales de contaminación con mercurio son: la combustión de carbón para la generación de energía eléctrica (3); la minería de oro a grande y pequeña escala; varios procesos industriales, como la producción de cloro-álcali, pulpa de papel, fertilizantes, procesamiento de cuero y refinería de combustibles; y la generación de residuos agrícolas y municipales (4).

En la actualidad, la contaminación por mercurio se ha convertido en un problema ambiental en todo el mundo, debido a su

toxicidad, biodisponibilidad, su alto factor de biomagnificación (hasta  $10^6$ ) en la cadena alimentaria y su alta solubilidad en grasas, lo cual causa graves daños al ambiente y la salud humana (5, 6).

En la minería de oro se utiliza mercurio metálico para amalgamar dicho metal, lo que contribuye enormemente a la contaminación del mercurio a nivel mundial. La exposición a mercurio plantea serios riesgos de salud para los mineros y sus familias, sobre todo cuando este se elimina por la quema de la amalgama de oro-mercurio. La bioacumulación de Hg en las cadenas tróficas que se desarrollan en la zona del Alto San Jorge repercute sobre las poblaciones humanas que dependen directa o indirectamente de los peces y otros organismos destinados a la alimentación, debido a lo cual se ha convertido en un problema de salud pública (7-10).

La mayor parte de la producción del sector aurífero en Colombia, específicamente en los departamentos de Antioquía, Córdoba

y Bolívar, proviene de la minería artesanal, con efectos marcados e irreversibles sobre el ambiente (agua, suelo, aire), siendo Colombia considerado como el tercer país con mayor fuente de emisión de Hg procedente de actividades de minería artesanal, y es el más alto contaminador per cápita de mercurio (11).

Las principales consecuencias de la exposición a contaminantes, tales como el Hg, están relacionadas con la posibilidad de intoxicación durante el desarrollo del cerebro, ya que el metil-mercurio (MeHg) puede atravesar fácilmente la placenta y la barrera sanguínea cerebral. Adicionalmente, la exposición prenatal al Hg interfiere con el crecimiento y la migración de neuronas y tiene el potencial de causar daños irreversibles al sistema nervioso central en desarrollo (12).

Estudios recientes realizados en Colombia sobre el Hg utilizado en el proceso de extracción del oro han mostrado resultados alarmantes sobre la cantidad de contaminante vertidos al ambiente (50 y 100 toneladas en 2007) (11). Sin embargo, dada la cantidad de contaminante presentada en los medios acuáticos y las implicaciones en la salud de sus pobladores (7-10), como la cantidad de Hg en cabello humano (12,8 µg/g), que está muy por encima de estándares internacionales (13), esto se ha relacionado con problemas de salud, tales como malformaciones congénitas, abortos, muertes perinatales, alteraciones neuroconductuales, preocupación excesiva, insomnio, nerviosismo, lagrimeo, opresión en el pecho, falta de energía, entre otros; que se han evidenciado cuando se consume frecuentemente peces con concentraciones de mercurio total de hasta 1071 ng/g (13, 14).

El uso de biomarcadores de exposición es una forma muy precisa para obtener un

estimado total de una sustancia tóxica. La orina es un biomarcador muy utilizado para la determinación de la exposición reciente. La concentración de mercurio en orina es considerada como uno de los biomarcadores más exactos para comprender los niveles de mercurio presentes en los riñones (15).

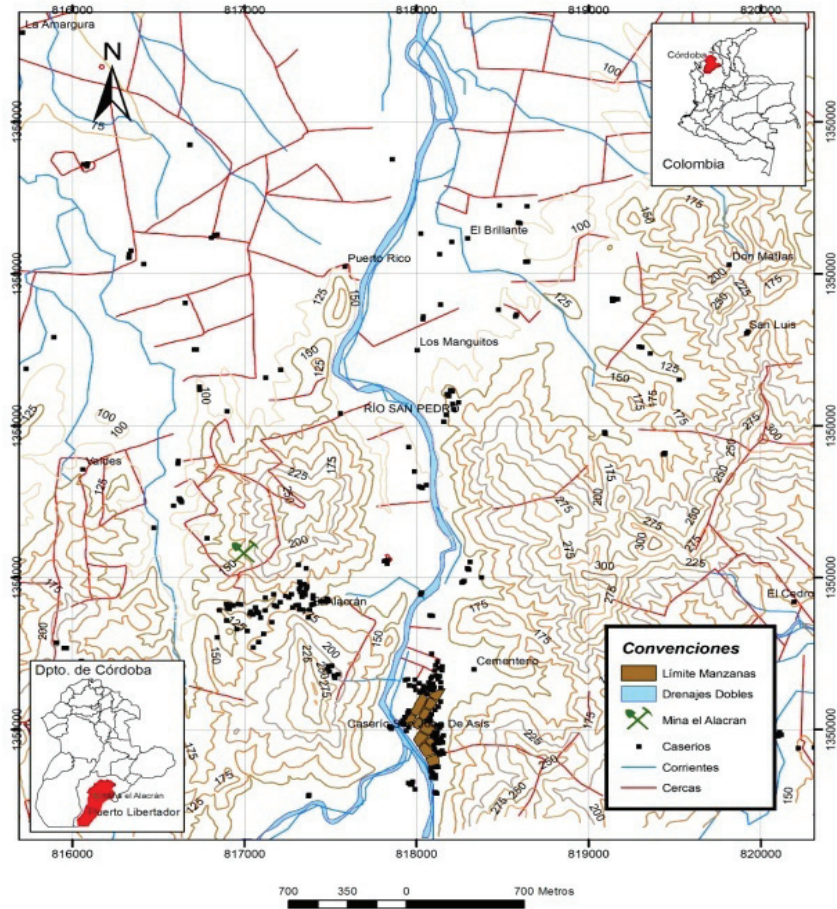
En este estudio se evaluó la exposición a mercurio de trabajadores de la mina El Alacrán del municipio de Puerto Libertador, en el departamento de Córdoba (Colombia), por la exposición ocupacional al Hg en la minería artesanal mediante un biomarcador de exposición.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La mina El Alacrán está ubicada en el noroeste de Colombia, entre las coordenadas 7°44'29.01" Norte y 75°44'10.8" Oeste, en la parte alta de la cuenca del río San Jorge, perteneciente a la zona rural del municipio de Puerto Libertador, el cual se localiza a 160 km de la capital del departamento de Córdoba. La figura 1 muestra la distribución de Hg en los suelos de la mina El Alacrán, la cual tiene un área de explotación de 23 500m<sup>2</sup>; las áreas donde se presenta mayor concentración son aquellas que están relativamente cerca a los molinos de amalgamación o zona de influencia antropogénica (zona intervenida), con intervalos de concentración de Hg-T entre 226.5 a 6321.7 ng/g en suelos y niveles de Hg en aire del rango de 577 a 2267 ng/m<sup>3</sup> (16).

La población ubicada alrededor de la mina se caracteriza por ser rural, presenta un nivel bajo de educación, condiciones socioeconómicas precarias y baja cobertura de los programas desarrollados por el Gobierno nacional.



**Figura 1.** Distribución de Hg en la zona y ubicación geográfica Mina el alacrán, municipio de puerto libertador, departamento de Córdoba

El proceso de extracción del oro se lleva a cabo en centros de procesamientos o “entables”, los cuales se encuentran muy cerca de la población, escuelas y tiendas. Generalmente, el mercurio se adiciona en los entables en molinos de bolas conocidos como *cocos*. Este proceso de amalgamación aumenta los niveles de mercurio hacia los efluentes (11). Finalmente la amalgama obtenida es calentada a altas temperaturas, para separar el oro del mercurio por evaporación (17), lo cual

genera vapores tóxicos que son inhalados por la población.

## MÉTODOS Y TÉCNICAS

### Toma de muestras de orina

Las muestras fueron tomadas de una población de 31 donantes adultos del municipio de Puerto Libertador (trabajadores de la mina El Alacrán), con edades entre 18 y 50 años, con previa aceptación del consentimiento

informado. Se establecieron 2 grupos: una población expuesta (personas que están expuestas ocupacionalmente al Hg) y una población control (personas que no están expuestas ocupacionalmente a este metal). Adicionalmente, se realizó una encuesta a los donantes para relacionar algunas fuentes de exposición y las diferentes sintomatologías presentadas por los habitantes del área de estudio expuestos a este metal pesado.

Las muestras se tomaron en las horas de la mañana en recipientes de polietileno prelavados con HNO<sub>3</sub> al 15 % durante 24 horas y agua desmineralizada, los cuales contenían 1 mL de HNO<sub>3</sub> al 10 % para evitar la volatilización del Hg (18). Posteriormente se almacenaron a 18 °C hasta su análisis.

#### Análisis de mercurio en orina

Las muestras se digitaron con una mezcla de HNO<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (7:2) asistida con microondas (marca Milestone, modelo Ethos Touch, serie 127697) según Olmedo et al. (19). El análisis de Hg total se realizó por espectrometría de absorción atómica con vapor frío (CVAAS) descrita por USEPA (20) y Sadiq et al., modificado (21), utilizando un equipo Thermo Scientific modelo iCE serie 3000, con un sistema de generación de vapor frío a una longitud de onda de 253,7 nm para cuantificar el Hg (9). El método para la determinación de Hg fue validado utilizando el material de referencia para orina SRM 2670a Toxic Elements in Urine Freeze Dried (95.1 ± 0.98 µg / L). El porcentaje de recuperación fue de 99.1 % ± 0.1 %. El límite de detección (LD) para Hg en orina fue de 0.14 µg / L.

#### ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se evaluaron los supuestos de normalidad utilizando la prueba de t - test. Como los

datos no se ajustaron a una distribución normal, se empleó el t - test de Mann-Whitney Rank Sum Test (para datos no paramétricos) utilizando el paquete estadístico Sigma Plot, versión 11.0 ®). Se pudo evidenciar que existen diferencias significativas entre las poblaciones de estudio (trabajadores de la mina El Alacrán) y la población control, con un nivel de significancia del 0.05.

#### RESULTADOS

La tabla 1 muestra los valores de Hg total presentes en la orina de los trabajadores de la mina El Alacrán. Los resultados indican que el 71.41 % de las muestras analizadas están por debajo de la norma establecida por la OMS (20 µg/L), mientras que el 28.59 % se encuentra por encima de esta. La población control no sobrepasó la norma establecida con un promedio de 0.15 µg/L. Además, se puede evidenciar que existen diferencias estadísticamente significativas entre las poblaciones de estudio (trabajadores de la mina El Alacrán) y la población control (p = <0,001).

**Tabla 1.** Concentración de Hg en orina de trabajadores de la Mina el Alacrán

| No personas | % Población | µgHg / L    |
|-------------|-------------|-------------|
| 5           | 28.57       | 0 – 5       |
| 4           | 19.04       | 5.0 – 10.0  |
| 3           | 23.80       | 10.0 – 20.0 |
| 4           | 33.33       | 20.0 – 40.0 |
| 3           | 23.80       | 40.0 – 60.0 |
| 2           | 14.28       | > 60        |
| Control     |             | 0.15*       |

n = 21 (Población Expuesta), n = 10 (Población Control), \* Promedio determinación

**Fuente:** datos tabulados por los autores

## DISCUSIÓN

Los resultados muestran la exposición al Hg a que están sometidos los trabajadores de la mina El Alacrán. Los valores reportados en este trabajo sobrepasan los límites permisibles establecidos por la OMS (20 µg/L); probablemente son generados debido a la exposición laboral que se produce cuando los trabajadores inhalan vapores de mercurio durante la fusión de las amalgamas, a través de un contacto directo y por medio de material particulado. Es importante resaltar que las personas que viven alrededor de la mina están expuestas a suelos, aire, cultivos, agua y otra clase de alimentos (especialmente peces) contaminados con Hg (22, 23). Madrid et al. (22) en un biomonitoreo de metales pesados en sangre evidenciaron la contaminación de esta población con valores que oscilaron entre  $30.40 \pm 6.0$  µg/L. Comparando los resultados obtenidos con los reportados por Abrefah et al. (24), que evidenciaron valores de Hg en orina de acuerdo con la distancia de la mina de  $0.36$  µg/L  $\pm$  0.11 (10 km),  $0.47$  µg/L  $\pm$  0.12 (2 km),  $0.51$  µg/L  $\pm$  0.16 (0,5 km), y la función desempeñada:  $0.57$  µg/L  $\pm$  0.14 (trabajadores casuales) y  $0.56$  µg/L  $\pm$  0.21 (trabajadores que procesan el oro).

El 28.6 % de las muestras analizadas excede el límite permisible establecido por la OMS y la EPA (20 µg/L de orina) (25), lo que constituye un riesgo real para la salud, debido a que el mercurio causa daño permanente al sistema nervioso, y genera una variedad de síntomas, como parestesia, ataxia, perturbaciones sensoriales, temblores, visión borrosa, discurso lento, dificultades auditivas, ceguera, sordera, toxicidad hepática, renal, infarto al miocardio, funcionamiento defectuoso del sistema inmune, tensión arterial irregular,

daños neuronales en bebés en desarrollo y muerte (12, 26).

El caso de la mina El Alacrán es una muestra de lo que se está presentando en muchas zonas mineras en el país, donde el mercurio es utilizado excesivamente en el proceso minero. Si los organismos de control encargados de vigilar estas actividades no toman los correctivos necesarios, es probable que en poco tiempo estemos enfrentando graves problemas de salud pública. Es una problemática muy grave, debido a que en Colombia hay cerca de 12 000 minas artesanales donde se utiliza Hg en el proceso extractivo, y debido al incremento de los precios del oro, estas van en aumento (11).

## CONCLUSIONES

- Los niveles de mercurio contenidos en las muestras de orina evidencian un riesgo potencial para la salud de los trabajadores de la mina El Alacrán, por la exposición ocupacional a este metal en el proceso de amalgación del oro, debido a que el Hg es fácilmente absorbido por los tejidos biológicos y su eliminación es bastante lenta, lo cual aumenta su toxicidad y/o bioacumulación.
- La determinación de las concentraciones de Hg en orina de personas expuestas ocupacionalmente permite el biomonitoreo y la implementación de planes de manejo para la prevención, con miras a reducir los factores de riesgo sobre la salud de la población residente cerca de la mina El Alacrán.

**Conflicto de interés:** ninguno.

**Financiación:** Colciencias y la Universidad de Córdoba mediante contrato 1112 -519 -29083.

## REFERENCIAS

1. ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for mercury. U.S. Department of health and human services (2004). Public Health Service USA. [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs46.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs46.pdf).
2. Lubick N. Funding struggle for mercury monitoring. *Nature* 2009; 459: 620 - 621.
3. López M, Díaz M, Ochoa, R, Martínez, M. Analytical methods for mercury analysis in coal and coal combustion by-products. *International Journal of Coal Geology* 2012; 94: 44 - 53.
4. Rao M, Reddy D, Venkateswarlu P, Seshaiiah K. Removal of mercury from aqueous solutions using activated carbon prepared from agricultural by-product/waste. *Journal of Environmental Management* 2009; 90: 634 - 643.
5. Luo G, Yao H, Xu M, Xu Z, Gupta R. Identifying modes of occurrence of mercury in coal by temperature programmed pyrolysis. *Proceedings of the Combustion Institute* 2009; 33: 2763 - 2769.
6. Review article Determination and speciation of mercury in environmental and biological samples by analytical atomic spectrometry. *Microchemical Journal* 2012; 103: 1 - 14.
7. Olivero J, Johnson B, Mendoza C, Paz R, Olivero R. Mercury in the aquatic environment of The Village of Caimito at The Mojana Region, North of Colombia. *Water Air Soil Pollut* 2004; 159: 409 - 420.
8. Marrugo J, Lans E. Impacto ambiental por contaminación con níquel, mercurio y cadmio en aguas, peces y sedimentos en la cuenca del río San Jorge, en el departamento de Córdoba. Informe Final. Oficina de Investigaciones, Universidad de Córdoba, 2006. Montería.
9. Marrugo J, Olivero J, Benítez L. Distribution of mercury in several environmental compartments in an aquatic ecosystem impacted by gold mining in Northern Colombia. *Arch. Environ. Contam. Toxicol* 2008a; 55:305 - 316.
10. Marrugo J, Olivero J, Lans E, Benítez L. Total mercury and methylmercury concentrations in fish from the Mojana of Colombia. *Environ Geochem Health* 2008b; 30: 21- 30.
11. Cordy P, Veiga M, Salih I, Al-Saadi S, Console S, Garcia O, Mesa L, Velásquez-López P, Roeser M. Mercury contamination from artisanal gold mining in Antioquia, Colombia: The world's highest per capita mercury pollution. *Science of the Total Environment* 2011; 410-411: 154 - 160.
12. Liu G, Cai Y, O'Driscoll N. Environmental chemistry and toxicology of mercury. New Jersey: John Wiley & Sons - Hoboken; 2012.
13. Gracia L, Marrugo J, Alvis E, Contaminación por mercurio en humanos y peces en el municipio de Ayapel (Córdoba, Colombia), 2009. *Salud Pública* 2010; 28(2): 118 -124.
14. Moreno J. Alteraciones comportamentales y de personalidad debido a la exposición ocupacional a mercurio en un grupo mineros del oro de la región del Bagre (Antioquia). Trabajo de grado en Especialización en gerencia de la Salud Pública, Facultad de Medicina, Universidad CES, 2008. Medellín.
15. OMS Guidance for identifying populations at risk from mercury exposure. United Nations Environment Programme (chemicals branch). August 2008.
16. SUE Caribe. Metales pesados en Aire y *Tillandsia* elongate en la zona minera de la Cuenca Alta del río San Jorge, departamento de Córdoba. Msc Ciencias Ambientales, 2012.
17. Tomicic C, Vernez D, Belem T, Berode M. Human mercury exposure associated with small-scale gold mining in Burkina Faso. *Int Arch Occup Environ Health* 2011; 84:539 - 546.
18. Halbach S, Vogtb S, Ko hlerc W, Felgenhauerd N, Welzle G, Kremersb L, Zilkerd T, Melchartc D. Blood and urine mercury

- levels in adult amalgam patients of a randomized controlled trial: Interaction of Hg species in erythrocytes. *Environmental Research* 2008; 107: 69 - 78.
19. Olmedo P, Pla A, Hernández A, López-Guarnido O, Rodrigo L, Gil F. Validation of a method to quantify chromium, cadmium, manganese, nickel and lead in human whole blood, urine, saliva and hair samples by electrothermal atomic absorption spectrometry. *Analytica Chimica Acta* 2010; 659: 60-67.
  20. USEPA Methods 2451 for determination of mercury in water. U.S. Cincinnati, OH: Environmental Protection Agency; 1994.
  21. Sadiq M, Zaidi T, Al-Mohana M, Sample weight and digestion temperature as critical factors in mercury determination in fish. *Bull Environ Contam Toxicol* 1991; 47:335 -341.
  22. Madrid G, Gracia L, Marrugo J, Urango I. Genotoxicidad de metales pesados (Hg, Zn, Cu, Pb y Cd) asociado a explotaciones mineras en pobladores de la cuenca del río San Jorge del departamento de Córdoba, Colombia. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas* 2011; 23: 103 - 111.
  23. Bose-O'Reilly S, Lettmeier B, Cao TL, Siebert U, Tesha AL, Pronczuk J et al. Health and environmental training in mercury-contaminated areas. *Int J Environ Health* 2008c.
  24. Abrefah R, Adotey D, Mensimah E, Ampomah-Amoako E, R. B. M. Sogbadji and N. S Opatá. Biomonitoring of Occupational Exposure to Total Arsenic and Total Mercury in Urine of Goldmine Workers in Southwestern Ghana. *Environmental Research, Engineering and Management* 2011; 2(56): 43 - 48.
  25. Rogers H, Jeffery N, Kieszak S, Fritz P, Spliethoff H, Palmer C, Parsons P, Kass D, Caldwell K, Eadon G, Rubin C. Mercury Exposure in Young Children Living in New York City. *Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine* 2007; 85 (1): 39 - 51.
  26. Skinner K, Wright N, Porter-Goff E. Mercury uptake and accumulation by four species of aquatic plants. *Environmental Pollution* 2007; 145: 234 - 237.