

ARTÍCULO ORIGINAL

Condiciones laborales y conocimiento sobre el mercurio en compradores de oro y trabajadores de "entables", Antioquia (2013-2014)

Working conditions and knowledge about mercury in gold buyers and "entables" workers, Antioquia, 2013 - 2014

Carlos Federico Molina¹
Carlos Mario Quiroz¹

¹Facultad Nacional de Salud Pública, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

RESUMEN

Introducción: La minería de oro a pequeña escala es una fuente económica importante para la subsistencia, pero puede generar graves consecuencias en la salud de los trabajadores por el uso del mercurio en sus procesos.

Objetivo: Determinar los factores personales, condiciones laborales y de conocimiento sobre el uso de mercurio que están relacionados con los niveles corporales de este metal, en trabajadores de entables y de compra de oro de nueve municipios del departamento de Antioquia entre 2013-2014

Métodos: Estudio de corte trasversal en 308 trabajadores de entables y compras de oro de siete municipios del departamento de Antioquia a los cuales se les aplicó una encuesta sobre: factores sociodemográficos, factores ocupacionales y de conocimiento sobre mercurio. Adicionalmente se les tomó una muestra de orina para evaluar los niveles corporales de mercurio. Los datos se analizaron mediante la aplicación de una prueba t y la construcción de un modelo de regresión lineal múltiple.

Resultados: Las características que se relacionaron con un aumento en los niveles de mercurio en la orina fueron: estar afiliado a riesgos laborales ($p=0,005$), usar elementos de protección personal ($p=0,000$) y haber recibido capacitación sobre mercurio, ($p=0,009$) mientras que el consumo de alimentos en el trabajo presentó una menor concentración de mercurio ($p=0,017$).

Conclusión: Este estudio observó que existen factores de la organización de trabajo y del conocimiento asociados con los niveles corporales de mercurio que deben ser incluidos en la legislación.

Palabras clave: Mercurio; minería; oro; riesgos laborales.

ABSTRACT

Introduction: Small-scale gold mining is an important economic source for subsistence, but it can generate serious consequences for the health of workers due to the use of mercury in their processes.

Objective: Establish the working conditions and knowledge on mercury in workers entables and gold shop workers in seven municipalities of Antioquia.

Methods: Cross-sectional study in 308 workers of entables and gold shop in seven municipalities of Antioquia to which we applied a survey of sociodemographic factors, risk factors and knowledge about mercury. Additionally, at these workers will be taking a urine sample to assess body levels of mercury. The data were analyzed by applying a t test and building a multiple linear regression model.

Results: The characteristics that are associated with an increase in mercury levels in urine were to be affiliated to occupational hazards ($p=0,005$), use personal protection elements ($p=0,000$) and have received training on mercury ($p=0,009$) while food consumption in the work present a lower concentration of mercury ($p=0,017$)

Conclusions: This study observed that there are factors in the organization of work and knowledge associated with body mercury levels that should be included in legislation and in the creation of a technical guide for controlling the mercury emissions.

Keywords: Mercury; gold; mining; Risks factors; Knowledge.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, la minería de oro a pequeña escala, (MOPE) es una fuente económica importante para la subsistencia¹ que ha generado graves consecuencias ambientales, debido a la utilización de tecnologías simples, pero no limpias.^{2,3} La producción de oro ha pasado de 35,8 toneladas en 2005, a 53,6 en 2010, y se espera que incremente en un 51 % por considerarse un eje clave para el crecimiento económico nacional.⁴

Una de las prácticas más extendidas en la minería aurífera es el uso del mercurio (Hg) para la amalgamación, por ser una forma rápida, sencilla y económica para extraer el oro.⁵ En la MOPE, la recuperación de este mineral se realiza en lugares llamados entables. En estos sitios el material extraído de la mina es colocado en máquinas trituradoras (cocos) con la adición de mercurio hasta obtener un lodo fino, el cual es llevado a un mezclador con más mercurio para amalgamar el oro y separarlo de elementos menos valiosos. Esta amalgama se separa del resto del material por densidad y es llevada a las compras de oro, allí se somete a calcinación en tanto se procede a la evaporación del mercurio y se deja el oro libre. Tanto en la amalgamación como en la calcinación, el mercurio es liberado al ambiente en forma de vapores que contaminan todo el ecosistema, generando un impacto en la salud ambiental y laboral del personal que trabaja con este metal. El vapor de humo del mercurio es inhalado por los trabajadores de los entables y compras de oro, el cual es absorbido en un 80 % por vía inhalatoria, para posteriormente alcanzar el torrente sanguíneo, en donde se distribuye unido a

proteínas plasmáticas o disuelto en el plasma y se acumula en mayor medida en el sistema nervioso central y en el riñón por donde finalmente es excretado. Es por esto que se considera que los principales efectos nocivos de este metal se dan por su neurotoxicidad y nefrotoxicidad, efectos que son más prevalentes en los trabajadores mineros y en las comunidades con alta exposición a mercurio,^{2,3,6,7} como se observa en la figura.

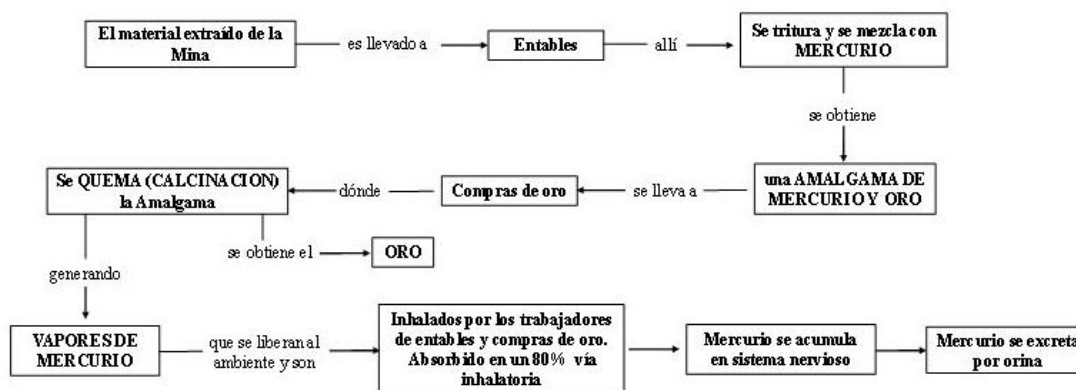


Figura 1. Proceso de obtención del oro y exposición a mercurio por los trabajadores.

Si bien las consecuencias para la salud por la exposición al mercurio están bien descritas en la literatura,⁸⁻¹¹ no se ha prestado suficiente atención a las condiciones laborales de los trabajadores de entables y compras de oro, y por tanto no se reconocen suficientemente los efectos nocivos que esto puede generar en la salud del trabajador.

En Colombia existen aproximadamente 9 600 minas a pequeña escala, de las cuales el 70 % operan de forma ilegal y generan alrededor de 200.000 empleos.¹² El contexto laboral de estos trabajadores se caracteriza por no tener un horario establecido para la jornada laboral y de trabajo en espacios físicos inapropiados, precarios y sin elementos de protección personal. La percepción del riesgo y los conocimientos que tienen los trabajadores en relación con el uso del mercurio, los efectos para su salud y la de su familia, son muy limitados, en algunos casos incorrectos, según lo reportado por el estudio de *Idrovo y otros*, realizado en la población minera aurífera del Guainía, en la Orinoquia colombiana.¹³ Situaciones similares se presentan en otras regiones de Colombia como Antioquia, Chocó, Bolívar y Caldas. El Departamento de Antioquia es el mayor centro productor de oro de Colombia, y en particular en las subregiones Nordeste y Bajo Cauca tiene entre 15 000 a 30 000 personas que trabajan como mineros artesanales de oro.¹⁴

Son pocos los estudios que han abordado la problemática asociada al uso de la minería artesanal en Colombia, lo cual constituye un gran reto para la investigación aplicada a la salud pública. El objetivo del presente estudio fue determinar los factores personales, condiciones laborales y de conocimiento sobre el uso de mercurio que están relacionados con los niveles corporales de este metal, en trabajadores de entables y de compra de oro de nueve municipios del departamento de Antioquia entre los años 2013-2014.

MÉTODOS

Se realizó un estudio de corte transversal con 300 trabajadores mineros de nueve municipios del departamento de Antioquia, Colombia, un sitio de reconocida tradición en minería aurífera: Andes, Buritica, El Bagre, Nechi, Remedios, Puerto Berrio, Segovia, San Roque y Zaragoza.

La población objeto de estudio estuvo constituida por trabajadores de compras de oro y entables, mayores de edad, de ambos sexos, que tenían contacto directo con el mercurio debido a su trabajo.

Muestra y muestreo

El tamaño de muestra fue de 300 trabajadores, la estimación de esta se hizo de acuerdo con los siguientes parámetros: nivel de confianza del 95 %, promedio de mercurio esperado en orina de 22,8 µg/L y precisión de 2 %. Dichos parámetros fueron definidos basados en un estudio realizado en zonas mineras de Brasil;¹⁵ para el cálculo se usó el software Epidat versión 4.0. Se realizó una distribución proporcional del número de trabajadores por sitio de trabajo, y fue asignado un 50 % a cada sitio (compra de oro o entable).

Los participantes se seleccionaron de manera aleatoria a partir de un marco muestral de un listado de los trabajadores de cada entable y compra, ubicados en los diferentes municipios. Para la selección se usaron números aleatorios. Una vez seleccionados los trabajadores se les solicitó su participación voluntaria y se pidió la firma del consentimiento informado. En total se evaluaron 308 participantes de los cuales 154 correspondieron a trabajadores de entables y el mismo número a trabajadores de compras de oro.

La colecta de datos en campo se realizó entre los meses de marzo y septiembre del 2014. Se aplicó una encuesta de 70 preguntas sobre aspectos sociodemográficos, ocupacionales y de conocimientos de los trabajadores en relación con el uso de mercurio e intoxicación por este metal. Para la elaboración de la encuesta se siguieron los criterios de desarrollados por el programa de evaluación de riesgo por exposición a mercurio de las Naciones Unidas.^{16,17} La encuesta fue aplicada por médicos con formación en salud ocupacional y toxicología que previamente fueron capacitados y estandarizados en la aplicación del instrumento.

Complementario a la encuesta, se realizó la toma de muestra de orina para la determinación de los niveles de mercurio, dado que la orina es el principal biomarcador que evalúa la exposición ocupacional y refleja la inhalación de vapores de mercurio y el grado de acumulación del mercurio elemental en el organismo de los trabajadores expuestos, adicionalmente este biomarcador ha mostrado una muy buena correlación con los niveles ambientales de este metal.¹⁷⁻²³ La orina fue recolectada por los mismos participantes previas instrucciones para su colecta, se indicaba que se debía recolectar la primera orina de la mañana y en un recipiente suministrado por el equipo de campo que previamente había sido tratado con ácido nítrico. Una vez recogidas las muestras fueron rotuladas y embaladas para ser almacenadas en neveras a temperatura de 4°C para luego ser trasladadas en neveras portátiles al Laboratorio de Toxicología de la Universidad de Antioquia, el cual está habilitado para determinación de mercurio en orina.

El análisis de mercurio total se realizó con base en el método EPA 7473,²⁴ el cual utiliza el equipo MSD80. El método se fundamenta en la generación de Hg

elemental, mediante la descomposición térmica de la muestra en un horno de temperatura programable que, en una primera fase seca la muestra, y en la segunda procede a su descomposición. A continuación, la muestra pasa a un proceso de catálisis térmica que permite la liberación del Hg y la eliminación de contaminantes. Posteriormente pasa a través de una trampa de oro para su amalgamación. El amalgamador se calienta rápidamente liberando vapor de mercurio. Una corriente de oxígeno lleva al vapor de Hg a través de células de absorbancia localizadas en la trayectoria de la luz de una sola longitud de onda del espectrofotómetro de absorción atómica. La absorbancia (altura de pico o área del pico) se mide a 253,7 nm como una función de la concentración de mercurio. El rango de detección del método es de 0,05 a 600 ng y el límite de detección del instrumento para este método es 0,01 ng de Hg total. Los niveles considerados tóxicos fueron niveles superiores a 20 µg/g de creatinina y niveles de exposición fueron considerados los niveles entre 0 y 19 µg/g de creatinina (25).

Análisis estadístico

Para la descripción de las características personales, ocupacionales y conocimiento en relación con la utilización del mercurio, así como el nivel de mercurio en orina de los trabajadores evaluados se calcularon frecuencias y porcentajes; así mismo, los estadísticos descriptivos de resumen (media y desviación estándar) también se verificó el supuesto de distribución normal de las variables por medio de la prueba de Kolmogorov-Smirnov con corrección de Lilliefors. Para las variables que no presentaron una distribución normal como fue el caso de las concentraciones de mercurio en orina se hizo una transformación logarítmica para buscar la normalidad de estas muestras.

Para estimar las diferencias en los niveles de mercurio en orina versus las variables independientes como factores personales, ocupacionales y de conocimiento, se realizaron pruebas t para las variables con distribución normal, y se eligió el valor de p con base en el test de homogeneidad de varianzas de Levene. Se consideró un nivel de significancia de 5 %.

Adicionalmente se construyó un modelo de regresión lineal múltiple considerando como variable dependiente los niveles de mercurio en orina en los trabajadores evaluados y como independientes aquellas que en el análisis bivariado cumplieron con el criterio de Hosmer-Lemeshow (valor $p < 0,25$), además de la plausibilidad biológica y la importancia clínica.

La construcción del modelo final se realizó mediante el método enter, para lo cual se obtuvieron varios modelos y se observó el aporte de cada variable independiente en cada uno de ellos. Inicialmente se construyó un modelo con las variables de importancia epidemiológica ingresando una a una y observando el efecto sobre el modelo para definir las variables a ingresar al modelo final; posteriormente se ingresaron las variables independientes que fueron relevantes desde el punto de vista estadístico con un valor de p inferior a 0,25 en el análisis bivariado, además es importante mencionar que se excluyeron del análisis las variables independientes cuya correlación sugirió colinealidad evaluada esta última por medio del factor de inflación de varianza y finalmente se obtuvieron los coeficientes de correlación ajustados controlando la confusión. El ajuste del modelo se evaluó a través de la prueba de Hosmer-Lemeshow.

Todos los análisis estadísticos se realizaron usando el paquete estadístico para las ciencias sociales SPSS por sus siglas en inglés, licencia de la Universidad de Antioquia.

Aspectos éticos

Esta investigación siguió los principios éticos establecidos para investigaciones en seres humanos (Resolución N° 008430 de 1993 del Ministerio de Salud y Protección Social, República de Colombia y la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial) se aplicó consentimiento Informado por escrito a todos los individuos que participaron en la investigación. Fue aprobada por el comité de ética de la Facultad Nacional de Salud Pública de la Universidad de Antioquia. Los pacientes determinados como intoxicados fueron derivados a los hospitales y aseguradoras para dar inicio a los tratamientos correspondientes.

RESULTADOS

El municipio con una mayor participación correspondió Segovia con un 26 % del total de trabajadores evaluados, mientras que Remedios fue el que tuvo una menor participación con un 7,8 % y los demás municipios aportaron en promedio un 11 % cada uno. Predominaron los trabajadores de sexo masculino (93,2 %), con una edad promedio de 38 años ($\pm 12,8$). El 69,1 % de los encuestados tenía uniones conyugales estables, el nivel educativo más alto alcanzado por la población fue en su mayoría secundaria (49,4 %), seguido de primaria (30,5 %) y muy pocos eran analfabetas (4,2 %). En relación con los hábitos la mayoría de los participantes no fumaban (85 %) pero el 61,4 % consumían licor y un 67,5 % no realizaba ejercicio, el tiempo de residencia en el municipio fue en promedio de 22,54 años ($\pm 16,64$). El promedio de mercurio en orina fue de 66,98 μ g/L (+125,51) como se observa en la tabla 1.

Tabla 1. Características sociodemográficas, de la organización del trabajo y conocimiento sobre el mercurio en los trabajadores de compra y entables de siete municipios auríferos de Antioquia

Características		% (n)
Municipio	Andes	13,3 (41)
	El Bagre	12,0 (37)
	Buritica	8,1 (25)
	Nechi	11,7 (36)
	Puerto Berrio y límites	10,7 (33)
	Remedios	7,8 (24)
	Segovia	26,0 (80)
	Zaragoza	10,4 (32)
Sexo	Masculino	93,2 (287)
	Femenino	6,8 (21)
Estado civil	Casado y unión libre	69,8 (213)
	Soltero, separado y viudo	30,2 (93)
Escolaridad	Analfabeta	4,2 (13)
	Primaria	30,5 (94)
	Secundaria	49,4 (152)
	Técnico o Tecnólogo	9,7 (30)
Consumo cigarrillo	No fuma	85,1 (262)

	Fuma	14,6 (45)
Consumo alcohol	Consumo licor	61,4 (189)
	No consume licor	38,3 (118)
Realiza ejercicio	No hace ejercicio	67,5 (208)
	Realiza ejercicio	31,8 (98)
Tipo de exposición	Administrador de compra	5,8 (18)
	Administrador de entable	9,7 (30)
	Operario de compra	44,2 (136)
	Operario de Entable	40,3 (124)
Afilación a salud	Régimen Contributivo	49,0 (151)
	Régimen Subsidiado	42,2 (130)
	No está Afiliado	8,4 (26)
Afilación a pensiones	No está afiliado	85,1 (262)
	Si está afiliado	14,3 (44)
Afilación a riesgos laborales	No está afiliado	85,4 (263)
	Si está afiliado	14,0 (43)
Horas de trabajo al día	Hasta 8 horas	47,2 (137)
	Más de 8 horas	52,8 (153)
Días a la semana de trabajo	Seis a siete días	57,3 (176)
	Uno a cinco días	42,7 (131)
Tipo de sustancia manipulada	Cianuro y mercurio	8,2 (25)
	Únicamente mercurio	91,8 (281)
Uso de elementos de protección personal	No Utiliza	61,8 (189)
	Únicamente mascarilla	13,1 (40)
	Protección completa	25,2 (77)
Tipo de mascarilla	No utiliza	54,5 (134)
	Mascarilla de tela	8,9 (22)
	Mascarilla de filtro	36,6 (90)
Consumo alimentos en el trabajo	SI consume	49,2 (147)
	No consume	50,8 (152)
Baño en el trabajo	No se baña en el trabajo	78,6 (235)
	Se baña en el trabajo	21,4 (64)
Conocimiento sobre contaminación	No tiene conocimiento sobre contaminación	62,0 (189)
	Si tiene conocimiento sobre contaminación	38,0 (116)
Conocimiento sobre efectos del mercurio	No conoce efectos del mercurio	70,8 (216)
	Conoce los efectos del mercurio	29,2 (89)
Capacitación en sintomatología	No ha recibido capacitación en sintomatología	87,2 (265)
	Recibió capacitación sobre síntomas	12,8 (39)
Capacitación en formas de disminuir contaminación	No recibió capacitación en formas de disminuir contaminación	81,3 (248)
	Recibió capacitación en formas de disminuir contaminación	18,7 (57)
		Media(ds)-Mediana
Edad		38,28 (12,87)-38
Tiempo de residencia en el municipio		22,54 (16,64)-20
Concentración de mercurio		66,98 (125,51)-32
Años trabajando en minería		11,08 (10,9)-7
Años trabajando con mercurio		10,80 (10,9)-6,5
Horas manipula mercurio al día		3,70 (3,7)-1

En relación con las condiciones laborales se observó que el 50 % de los participantes trabajaban en compras y el resto en entables, el 49 % pertenecían al régimen contributivo, el 42,2 % al régimen subsidiado y el 8,4 % restante no estaba afiliado a la salud. Llama la atención que el 85 % de los trabajadores no estaban afiliados a regímenes de pensiones o riesgos laborales (ARL). Adicionalmente, el 52 % de los trabajadores laboraba más de ocho horas y el 57 % trabajaba entre seis y siete días a la semana. La mayoría de los trabajadores (91,8 %) utilizan únicamente el mercurio sin mezclarlo con cianuro. En relación con el uso de elementos de protección personal (EPP) la mayoría no utiliza EPP, solamente mascarilla un 13,1 % y de estos la mayoría utilizan mascarilla con filtro, solo el 25 % utiliza protección completa. Con respecto a otros hábitos se evidenció que la mitad de los evaluados consume alimentos en el trabajo y la mayoría se baña en la casa; solo el 21,4 % se bañan en el trabajo como se observa en la tabla 1.

En relación con los conocimientos se observó que el 65 % de los trabajadores no tenían conocimientos sobre contaminación o sobre los efectos del mercurio, el 87 % no había recibido capacitación en sintomatología o en las formas de disminuir la contaminación generada por este metal (tabla 1).

Se observó una mayor concentración promedio de mercurio en orina más en hombres 60,20(\pm 119) μ g/L que en mujeres 21,5 μ g/L (\pm 44,65), diferencia significativa ($p=0,001$), como se observa en la tabla 2. Del mismo modo se evidenció diferencia significativa con el tipo de exposición siendo mayores las concentraciones de mercurio en orina en los operarios de compras 110 μ g/L (\pm 174,86) que los de entables 27,86 μ g/L (\pm 33,32)($p=0,000$). También fue mayor la concentración entre los afiliados a la ARL 76,99 μ g/L (\pm 158,4) en comparación con los no afiliados 50,76 μ g/L (\pm 106,34)($p=0,044$). Las concentraciones de mercurio en orina fueron también mayores en quienes consumían alimentos en el trabajo, en quienes utilizan protección completa comparado con los que solo usan mascarillas y los que no utilizan EPP. Ver tabla 2.

Tabla 2. Factores personales, de la organización de trabajo y del conocimiento sobre el mercurio asociados con los niveles corporales de mercurio en trabajadores de compra y entables de siete municipios auríferos de Antioquia

		Media	Desviación típ.	valor de p
Sexo	Masculino	60,20	119,99	0,001
	Femenino	21,50	44,65	
Estado civil	Soltero	61,94	145,68	0,094
	Unión estable	43,92	76,91	
Escolaridad	Analfabeta	35,34	37,09	0,086***
	Primaria	31,29	43,67	
	Secundaria	60,58	129,78	
	Técnico o Tecnólogo	52,77	124,21	
Consume cigarrillo	No fuma	50,76	106,34	0,800
	Si fuma	46,74	116,38	
Consume alcohol	Consume licor	56,06	109,22	0,251
	no consume licor	44,16	105,76	
Realiza ejercicio	No hace ejercicio	44,45	98,14	0,074

	Realiza ejercicio	64,90	127,17	
Tipo de exposición	Administrador de compra	73,14	97,63	0,000***
	Administrador de entable	38,18	30,62	
	Operario de compra	110,03	174,86	
	Operario de Entable	27,68	33,32	
Afiliación a salud	Régimen Contributivo	61,50	114,87	0,051
	Régimen Subsidiado	40,23	103,44	
Afiliación a pensiones	No está afiliado	45,46	94,67	0,083
	Si está afiliado	69,66	138,56	
Afiliación a riesgos laborales	No tiene	46,58	97,21	0,044
	Si pertenece	76,99	158,37	
Tipo de sustancia manipulada	Cianuro y mercurio	27,12	34,28	0,248
	Únicamente mercurio	51,82	110,47	
Forma de mercurio manipulada	Líquido y vapores	45,12	95,20	0,451
	Únicamente vapores	53,37	114,73	
Días laborales	6 a 7 días	53,14	108,29	0,641
	entre uno y cinco días	47,87	109,94	
Consume alimentos en el trabajo	Consume alimentos en el trabajo	86,10	150,01	0,018
	No consume alimentos en el trabajo	50,42	96,77	
Baño en el trabajo	No se baña en el trabajo	66,47	119,50	0,811
	Se baña en el trabajo	70,87	149,82	
Horas de trabajo diarias	Hasta 8 horas	52,20	91,05	0,083
	Más de 8 horas	78,73	150,44	
Uso elementos de protección personal	No Utiliza	40,88	74,41	0,000***
	Únicamente mascarilla	68,79	73,46	
	Protección completa	125,95	201,20	
Conocimiento sobre contaminación	No tiene conocimiento sobre contaminación	42,57	71,96	0,031
	Si tiene conocimiento sobre contaminación	66,47	156,68	
Conocimiento sobre efectos del mercurio	No conoce efectos del mercurio	42,10	78,78	0,006
	Conoce los efectos del mercurio	75,24	165,10	
Capacitación en sintomatología	No ha recibido capacitación en sintomatología	45,71	90,50	0,004
	Recibió capacitación sobre síntomas	99,08	215,92	
Capacitación en formas de reducir contaminación	No recibió capacitación en formas de disminuir contaminación	44,84	90,64	0,049
	Recibió capacitación en formas de disminuir contaminación	73,43	153,99	

*Media de la concentración de mercurio en orina luego de la transformación inversa logarítmica

**Prueba t de muestras independientes con transformación logarítmica de la variable concentración de mercurio en orina

***Prueba de Anova de un factor con transformación logarítmica de la variable concentración de mercurio en orina

Finalmente, en relación con el conocimiento sobre formas de contaminación y efectos del mercurio en el organismo, se estimó que los trabajadores con conocimiento sobre contaminación tenían mayores concentraciones comparados con los que no sabían del tema, del mismo modo se observó que quienes tenían conocimiento sobre los efectos de mercurio presentaron mayores niveles de

mercurio frente a los que no conocían los efectos del mercurio. Se evidenció, además, que los trabajadores que habían recibido capacitación en sintomatología y en formas de reducir la contaminación tenían mayores concentraciones de mercurio en orina, comparados con los trabajadores que no habían recibido capacitación en sintomatología o en formas de reducir la contaminación por mercurio. Ver tabla 2.

El análisis multivariado mediante la regresión lineal múltiple, sugirió que las características que se relacionan con un aumento en los niveles, son estar afiliado a riesgos laborales con un coeficiente de 0,160, usar elementos de protección personal con un coeficiente beta de 0,287 y haber recibido capacitación en intoxicación por mercurio ($\beta=0,135$) mientras que el consumo de alimentos en el trabajo presentó una menor concentración de mercurio ($\beta=0,148$), como se observa en la tabla 3.

Tabla 3. Modelo final de la regresión múltiple que explica los niveles corporales de mercurio en trabajadores de compra y entables de siete municipios auríferos de Antioquia

	Coeficiente Beta	Valor de p	Intervalo de confianza del 95,0 % del coeficiente Beta	
			Límite inferior	Límite superior
Estar afiliado a riesgos laborales	0,160	0,005	18,819	102,017
Usar elementos de protección personal	0,287	0,000	25,987	58,530
Consumir alimentos en el trabajo	-0,148	0,009	-65,975	-9,358
Haber recibido capacitación en intoxicación por mercurio	0,135	0,017	9,393	96,148

Prueba de Hosmer-Lemeshow para el modelo de regresión lineal múltiple, valor de p de 0,830
Valor de R^2 para el modelo de regresión lineal múltiple de 0,16

El modelo conformado por estas 4 características explicó el 16 % de la variabilidad de la concentración de mercurio en orina en los trabajadores mineros (R^2 0,16), el porcentaje restante sería explicado por otras condiciones y características que no fueron consideradas en este estudio.

DISCUSIÓN

Esta es una de las primeras investigaciones que se realiza para medir las concentraciones de mercurio en trabajadores de la minería de oro artesanal en el departamento de Antioquia, utilizando la orina como biomarcador de mercurio total. Adicionalmente se exploraron algunos factores personales, ocupacionales y de conocimientos que pudieran incrementar los niveles de mercurio en los trabajadores.

El perfil sociodemográfico de los trabajadores participantes de este estudio fue similar a la población minera que ha sido observada en otros reportes, como el caso de los mineros del oro de Guainía,¹³ Tanzania,² Indonesia,²⁶ Perú²⁷ y en un estudio realizado previamente en el municipio de Segovia del departamento de Antioquia.²⁸ Entre los factores de riesgo considerados como la ingesta de alcohol y el tabaquismo, no hubo una correlación significativa con los niveles de mercurio en

orina, coherente con lo obtenido en la investigación con mineros de Filipinas²⁹ y Burkina Faso.³⁰

Con respecto a las condiciones laborales se evidenció un alto grado de precariedad, los participantes no tenían contratos laborales, por lo tanto eran considerados trabajadores informales y en ocasiones ilegales, observando vulneración a derechos de los trabajadores como la afiliación a la salud y riesgos laborales, situación de que no es sorprendente en Colombia, y que fue puesta en evidencia anteriormente por estudios como el de Mineros de Guainía en el año 2001¹³ y Segovia.²⁸ Se considera que las jornadas laborales son extensas de más de ocho horas diarias, con derecho solo a un día de descanso a la semana, situación similar a lo reportado con los mineros en Burkina Faso.³⁰

Una situación preocupante en la mayoría de los trabajadores es que no utilizan elementos de protección personal y entre quienes, si lo hacen, su uso se hace de manera inadecuada e incompleta. Asimismo, tienen malos hábitos laborales como son consumir alimentos en el sitio de trabajo y bañarse en la casa en vez de hacerlo en su lugar de trabajo. Este comportamiento se ha observado en diferentes comunidades mineras de oro del mundo^{29,31} y de Colombia.^{13,28}

Los mineros a pesar de reconocer que el mercurio es un tóxico importante, desconocen cuáles son las formas de contaminación y sus efectos nocivos sobre la salud; además, la mayoría de ellos no ha recibido capacitación sobre estrategias para reducir la contaminación ni sobre la identificación de posibles efectos de la intoxicación por este metal, similar a los estudios previos realizados en Guainía,¹³ Segovia,²⁸ Perú,²⁷ México³² y Tanzania.³³

En el presente estudio el sexo masculino se relacionó con mayores niveles de mercurio en orina, lo cual podría ser explicado porque existe una mayor proporción de hombres dedicados a este tipo de trabajos de minería y en compras de oro, esto se aprecia alrededor del mundo, en especial en los mineros de Ghana.³⁴ Entre los factores laborales que están asociados con un mayor nivel de mercurio corporal se encuentran las labores de quema directa de la amalgama de mercurio, como el caso de quienes trabajan como compradores de oro, comparado con otros oficios mineros, esta situación se repite sistemáticamente a nivel mundial.^{2,26,27,29-32,34-39}

Sorprendentemente, se encontró que las concentraciones totales de mercurio en orina estaban asociadas al uso de elementos de protección personal, contrario a lo observado en los mineros de Ghana donde el uso de estos elementos redujo las concentraciones corporales de mercurio²⁴ este hallazgo podría explicarse por el inadecuado uso de elementos de protección personal especialmente con su uso intermitente y la utilización de equipos inadecuados o con un mal mantenimiento como el caso de no cambiar los filtros de las mascarillas, lo que hace que estos equipos no brinden una protección adecuada. Adicionalmente su uso está acompañado de una falsa sensación de seguridad, que hace que los trabajadores se expongan a un mayor riesgo y tengan una exposición más prolongada a los vapores de mercurio.

Se debe resaltar la asociación encontrada en este estudio en relación con el conocimiento y capacitación de los mineros en temas como la contaminación y los efectos del mercurio en la salud. Sin embargo, los hallazgos son contrarios a lo esperado, dado que se observó que tenían niveles más altos de mercurio los trabajadores que habían recibido capacitación comparados con los mineros con desconocimiento y no capacitados. Este comportamiento podría ser explicado porque no es suficiente que un trabajador asista a una capacitación para que él

logre apropiarse de los conocimientos y ponerlos en práctica. Las capacitaciones no siempre son de calidad y la información ofrecida es poca y no aplicable a sus contextos laborales. Existe un gran desinterés de los mineros en la adopción de tecnología más limpias a pesar del conocimiento de los riesgos, porque la mayoría de ellos percibe que la amalgamación es la única forma para extraer el oro o es el método más fácil y económico y debido a esto la mayoría de ellos no quieren invertir en tecnologías limpias que pudieran ser más costosas. Es posible también que esta relación observada sea el resultado de una confusión por una variable no medida en este estudio, lo cual sugiere continuar con investigación en esta área que permita obtener resultados concluyentes.

En conclusión, los hallazgos sugieren que los trabajadores han tenido una exposición reciente al mercurio, por tanto, se requieren intervenciones que prevengan los efectos dañinos de este metal sobre la salud y reduzcan la exposición al mercurio en estas zonas y en otros municipios de minería artesanal e informal del país, del mismo modo, hacer un seguimiento periódico para medir las exposiciones y evaluar la efectividad de las intervenciones futuras, como lo sugerido por otros investigadores como es el caso de México,³² Segovia,⁴⁰ Burkina Faso,³⁰ y Ghana.⁴¹

Se requieren estrategias educativas para la comunidad laboral centradas en estándares de calidad en los procesos para la explotación de oro, el cumplimiento de las normas de protección ambiental y seguridad en el trabajo y la recuperación del 100 % del mercurio y del oro que se tienen en el proceso; para lograr este objetivo no solo se deben dirigir acciones para el control individual de la condición de exposición, sino que se debe realizar una intervención general que limite tanto el riesgo individual como el riesgo colectivo derivado de la contaminación ambiental generado por prácticas laborales inadecuadas, proporcionando elementos para una reducción integral del riesgo. Como lo plantea *Veiga y otros* se deben fomentar intervenciones específicas orientadas a enfrentar el problema involucrando a la comunidad para lograr una suficiente confianza para que esta comunidad logre una adopción de tecnologías que no afecten el ambiente y la salud de las personas⁽²⁸⁾, esto de acuerdo también a lo planteado en investigaciones realizadas en México,³² Segovia,⁴⁰ Tanzania,³³ Ghana⁴¹ y revisiones sobre esta temática,^{42,43} donde se resalta que los elementos claves para la instauración de tecnologías limpias surgen de la aplicación adecuada de programas y proyectos educativos.

Otro aspecto fundamental para lograr una mejoría en la condiciones laborales y sociales de las áreas mineras de Antioquia es fomentar la participación del Estado (Nacional o local) en varios aspectos a saber: la promulgación de normas para identificar y controlar el problema, el diseño de estrategias para mantener constante el proceso del control del factor de riesgo y la vigilancia de aparición de efectos en la persona. Por lo que se debe estructurar un proceso de información y vigilancia sobre la problemática y establecer una guía técnica para todos los involucrados en los procesos extractivos y de beneficio del oro.

Limitaciones

Por tratarse de un estudio de corte trasversal no es posible establecer relaciones de causalidad, dado que no se puede estimar el orden temporal de los eventos. El tamaño de la muestra de estudio pudo limitar la estimación de asociaciones estadísticas entre algunas características de la organización del trabajo con los niveles de mercurio. El bajo porcentaje de explicación del modelo de regresión lineal múltiple puede ser una limitación que requiera subsanarse al ampliar las

variables explicativas de este fenómeno de acuerdo con la evidencia científica existente.

Agradecimientos

Esta publicación es resultado de la investigación realizada con el apoyo financiero de la estrategia de sostenibilidad 2013-2014 del Comité para el Desarrollo de la Investigación -CODI-, Universidad de Antioquia, de los grupos de investigación Seguridad y Salud en el trabajo y de Epidemiología grupos adscritos a la Facultad Nacional de Salud Pública de la Universidad de Antioquia.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés con lo expresado en el artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Umbangtalad S, Parkpian P, Visvanathan C, Delaune RD, Jugsujinda A. Assessment of Hg contamination and exposure to miners and schoolchildren at a small-scale gold mining and recovery operation in Thailand. *J Environ Sci Health Part A Tox Hazard Subst Environ Eng.* 2007;42(14):2071-9.
2. Bose-O'Reilly S, Drasch G, Beinhoff C, Tesha A, Drasch K, Roeder G, et al. Health assessment of artisanal gold miners in Tanzania. *Sci Total Environ.* 2010;408(4):796-805.
3. Basu N, Nam D-H, Kwansaa-Ansah E, Renne EP, Nriagu JO. Multiple metals exposure in a small-scale artisanal gold mining community. *Environ Res.* 2011;111(3):463-7.
4. Dirección Nacional de Planeación. Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014 «Prosperidad para todos» [Internet]. 2011 [citado 30 Nov 2016]. [aprox. 541 p.]. Disponible en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/PND/PND2010-2014%20Tomo%20I%20CD.pdf>
5. 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(5):539-46.
6. González V, Velasquez PC, Olivero J, Pájaro N. Air mercury contamination in the gold mining town of Portovelo, Ecuador. *Bull Environ Contam Toxicol.* 2011;87(3):250-3.

7. Li P, Feng X, Shang L, Qiu G, Meng B, Zhang H, et al. Human co-exposure to mercury vapor and methylmercury in artisanal mercury mining areas, Guizhou, China. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2011;74(3):473-9.
8. Clarkson TW, Magos L. The toxicology of mercury and its chemical compounds. *Crit Rev Toxicol.* 2006;36(8):609-62.
9. Clarkson TW, Magos L, Myers GJ. The toxicology of mercury--current exposures and clinical manifestations. *N Engl J Med.* 2003;349(18):1731-7.
10. Satoh H. Occupational and environmental toxicology of mercury and its compounds. *Ind Health.* 2000;38(2):153-64.
11. Li Y. Environmental contamination and risk assessment of mercury from a historic mercury mine located in southwestern China. *Environ Geochem Health.* 2013;35(1):27-36.
12. Hilson G. Small-scale mining and its socio-economic impact in developing countries. *Nat Resour Forum.* 2002;26(1):3-13.
13. Ldrovo AJ, Manotas LE, García GV de, Ortiz JE, Silva E, Romero SA, et al. Niveles de mercurio y percepción del riesgo en una población minera aurífera del Guainía (Orinoquia colombiana). *Biomédica.* 2001;21(2):134-41.
14. Cordy P, Veiga MM, Salih I, Al-Saadi S, Console S, Garcia O, et al. Mercury contamination from artisanal gold mining in Antioquia, Colombia: The world's highest per capita mercury pollution. *Sci Total Environ.* 2011;410-411:154-60.
15. Palheta D, Taylor A. Mercury in environmental and biological samples from a gold mining area in the Amazon region of Brazil. *Sci Total Environ.* 1995;168(1):63-9.
16. UNEP (United Nations Environment Programme). Guidance for identifying populations at risk from mercury exposure. Geneva: UNEP; 2010. UNEP(DTIE)/Hg/INC.2/INF/3.
17. Veiga MM, Baker RF. Protocols for environmental and health assessment of mercury released by artisanal and small-scale gold miners. Vienna, Austria: GEF/UNDP/UNIDO; 2004.
18. Doering S, Bose-O'Reilly S, Berger U. Essential Indicators Identifying Chronic Inorganic Mercury Intoxication: Pooled Analysis across Multiple Cross-Sectional Studies. *PloS One.* 2016;11(8):e0160323.
19. Kristensen AKB, Thomsen JF, Mikkelsen S. A review of mercury exposure among artisanal small-scale gold miners in developing countries. *Int Arch Occup Environ Health.* 2014;87(6):579-90.
20. WHO. Concise International Chemical Assessment Documents 50 Elemental mercury and inorganic mercury compounds: human health aspects [Internet]. WHO. 2003 [citado 30 Nov 2016]. [aprox. 68 p.]. Disponible en: <http://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/cicad50.pdf?ua=1>

21. Clarkson TW. The three modern faces of mercury. *Environ Health Perspect.* 2002;110 Suppl 1:11-23.
22. Tsuji JS, Williams PRD, Edwards MR, Allamneni KP, Kelsh MA, Paustenbach DJ, et al. Evaluation of mercury in urine as an indicator of exposure to low levels of mercury vapor. *Environ Health Perspect.* 2003;111(4):623-30.
23. Nuttall KL. Interpreting mercury in blood and urine of individual patients. *Ann Clin Lab Sci.* 2004;34(3):235-50.
24. EPA. Method 7473 (SW-846): Mercury in Solids and Solutions by Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry. Homeland Security Research US EPA [Internet]. 2007 Feb [citado 30 Nov 2016]. [aprox. 17 p.]. Disponible en: <https://www.epa.gov/homeland-security-research/epa-method-7473-sw-846-mercury-solids-and-solutions-thermal-decomposition>
25. TLVs and BEIs. occupational exposure guidelines. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), 2015.
26. Bose S, Drasch G, Beinhoff C, Rodrigues-Filho S, Roider G, Lettmeier B, et al. Health assessment of artisanal gold miners in Indonesia. *Sci Total Environ.* 2010;408(4):713-25.
27. Hurtado J, Gonzales GF, Steenland K. Mercury exposures in informal gold miners and relatives in southern Peru. *Int J Occup Environ Health.* 2006;12(4):340-5.
28. Muñoz LF, García LF, Rodríguez MA. Perception of health harm and usefulness of protection measures in people occupationally exposed to mercury in gold mining. *Rev Lasallista Investig.* 2012;9(1):53-61.
29. Cortes N, Reyes JP, Francisco AT, Akagi H, Sunio R, Panganiban LC. Health and environmental assessment of mercury exposure in a gold mining community in Western Mindanao, Philippines. *J Environ Manage.* 2006;81(2):126-34.
30. Bose S, Schierl R, Nowak D, Siebert U, William JF, Owi FT, et al. A preliminary study on health effects in villagers exposed to mercury in a small-scale artisanal gold mining area in Indonesia. *Environ Res.* 2016;149:274-81.
31. Baeuml J, Bose S, Gothe RM, Lettmeier B, Roider G, Drasch G, et al. Human Biomonitoring Data from Mercury Exposed Miners in Six Artisanal Small-Scale Gold Mining Areas in Asia and Africa. *Minerals.* 2011;1:122-43.
32. Camacho A, Van Brussel E, Carrizales L, Flores R, Verduzco B, Huerta SR, et al. Mercury Mining in Mexico: I. Community Engagement to Improve Health Outcomes from Artisanal Mining. *Ann Glob Health.* 2016;82(1):149-55.
33. Charles E, Thomas DSK, Dewey D, Davey M, Ngallaba SE, Konje E. A cross-sectional survey on knowledge and perceptions of health risks associated with arsenic and mercury contamination from artisanal gold mining in Tanzania. *BMC Public Health.* 2013;13:74.

34. Paruchuri Y, Siuniak A, Johnson N, Levin E, Mitchell K, Goodrich JM, et al. Occupational and environmental mercury exposure among small-scale gold miners in the Talensi-Nabdam District of Ghana's Upper East region. *Sci Total Environ.* 2010;408(24):6079-85.
35. Drasch G, Boese S, Beinhoff C, Roider G, Maydl S. The Mt. Diwata study on the Philippines 1999--assessing mercury intoxication of the population by small scale gold mining. *Sci Total Environ.* 2001;267(1-3):151-68.
36. Steckling N, Boese S, Gradel C, Gutschmidt K, Shinee E, Altangerel E, et al. Mercury exposure in female artisanal small-scale gold miners (ASGM) in Mongolia: An analysis of human biomonitoring (HBM) data from 2008. *Sci Total Environ.* 2011;409(5):994-1000.
37. van Straaten P. Human exposure to mercury due to small scale gold mining in northern Tanzania. *Sci Total Environ.* 2000;259(1-3):45-53.
38. De Miguel E, Clavijo D, Ortega MF, Gómez A. Probabilistic meta-analysis of risk from the exposure to Hg in artisanal gold mining communities in Colombia. *Chemosphere.* 2014;108:183-9.
39. Harari R, Harari F, Gerhardsson L, Lundh T, Skerfving S, Strömberg U, et al. Exposure and toxic effects of elemental mercury in gold-mining activities in Ecuador. *Toxicol Lett.* 2012;213(1):75-82.
40. Cordy P, Veiga M, Crawford B, Garcia O, Gonzalez V, Moraga D, et al. Characterization, mapping, and mitigation of mercury vapour emissions from artisanal mining gold shops. *Environ Res.* 2013;125:82-91.
41. Basu N, Renne EP, Long RN. An Integrated Assessment Approach to Address Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Ghana. *Int J Environ Res Public Health.* 2015;12(9):11683-98.
42. Veiga MM, Angeloci-Santos G, Meech JA. Review of barriers to reduce mercury use in artisanal gold mining. *The Extractive Industries and Society.* 2014;1:351-61.
43. Zolnikov TR. Limitations in small artisanal gold mining addressed by educational components paired with alternative mining methods. *Sci Total Environ.* 2012;419:1-6.

Recibido: 01/02/2017.

Aprobado: 12/06/2018.

Carlos Federico Molina. Facultad Nacional de Salud Pública, Universidad de Antioquia, Medellín.

Dirección electrónica: carlosfedericom@gmail.com