

# Exposición a plomo y mercurio en poblaciones de la ribera del río Bogotá: estudio multi-método

## Lead and mercury exposure in populations on the banks of the Bogotá River: a multi-method study

Sonia M. Díaz, Marcela E. Varona-Uribe,  
Clara I. Sánchez-Infante y Alvaro J. Idrovo

Recibido 6 julio 2018 / Enviado para modificación 23 octubre 2018 / Aceptado 26 diciembre 2018

### RESUMEN

**Objetivos** Este estudio buscó comprender la problemática sanitaria asociada con la presencia de plomo y mercurio en el agua del río Bogotá.

**Materiales y Métodos** Se realizó un estudio mixto con entrevistas, encuesta y mediciones de zinc protoporfirina (ZPP) y mercurio en sangre a 172 individuos. Se identificaron variables asociadas con las mayores concentraciones, y mediante análisis comparativo cualitativo los atributos de los casos con mayor exposición.

**Resultados** Las entrevistas reportaron que la contaminación del río se asocia con enfermedades, pese a que la exposición directa al agua no es frecuente. El agua del río es usada ampliamente para riego de cultivos que se venden en otros municipios. Las comunidades con mayor exposición al agua del río son de Tocaima y Girardot. Los mayores niveles de ZPP se observaron entre quienes vivían en estos municipios, con ocupación hogar y que realizaban actividades extralaborales con metales. Los niveles elevados de ZPP se asociaron con depresión, sangrado nasal y pérdida del apetito. Las mayores concentraciones de mercurio se presentaron entre habitantes de Girardot. Estas se asociaron con sudoración, desorientación, náuseas y diarrea.

**Conclusión** Se presentaron bajos niveles de plomo y mercurio en la población estudiada, aunque hay casos específicos con alta vulnerabilidad social que requieren atención especial.

**Palabras Clave:** Metales pesados; contaminación del agua; salud ambiental; salud pública (*fuentes: DeCS, BIREME*).

### ABSTRACT

**Objectives** This study sought to understand the health problems associated with the presence of lead and mercury in the water of the Bogotá River.

**Materials and Methods** A mixed methods study was conducted using interviews, surveys and measurements of zinc protoporphyrin (ZPP) and mercury in blood from 172 individuals. Variables associated with the highest concentrations were identified, as well as the attributes of the cases with increased exposure by means of a qualitative comparative analysis.

**Results** Interviews reported that river pollution is associated with diseases, although direct exposure to water is rare. River water is widely used for irrigation of crops that are sold in other municipalities. Communities with greater exposure to river water are Tocaima and Girardot. The highest levels of ZPP were observed among those living in these municipalities, did activities at home and performed non-work activities using metals. Increased ZPP levels were associated with depression, nasal bleeding and loss of appetite. The highest concentrations of mercury were found in the inhabitants of Girardot, and were associated with sweating, disorientation, nausea and diarrhea.

SD: Microbióloga. Especialista en Epidemiología, Epidemióloga de Campo (FETP). Grupo de Salud Ambiental y Laboral, Instituto Nacional de Salud. Bogotá, DC, Colombia.

*sdiaz21@gmail.com*

MV: MD. Especialista en Toxicología. Especialista en Medicina del Trabajo. M. Sc. Epidemiología, Ph.D. Ciencias Biológicas. Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud, Universidad del Rosario. Bogotá, Colombia.

*marcela.varona@urosario.edu.co*

CS: Enf. Especialista en Gerencia de Proyectos. M. Sc. Educación. Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad de Cundinamarca. Girardot, Colombia. *klaynez04@yahoo.com*

AI: MD. Especialista en Higiene y Salud Ocupacional, M. Sc. Salud Pública. M. Sc. Salud Ambiental, Ph.D. Epidemiología. Departamento de Salud Pública, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.

*idrovoaj@yahoo.com.mx*

**Conclusion** Low levels of lead and mercury were observed in the study population, although there are specific cases with high social vulnerability that require special attention.

**Key Words:** Heavy metals; water pollution; environmental health; public health (source: MeSH, NLM).

Colombia es un país con abundantes recursos hídricos (1), no obstante sus fuentes de agua están contaminadas por industrias, asentamientos humanos y la agricultura (2). La inadecuada disposición de los residuos sólidos permite que lleguen a los ríos metales pesados, como mercurio (Hg) y plomo (Pb). Se suma el vertimiento de metales por las industrias (2) y, en el caso del mercurio, al uso y disposición inadecuada por actividades mineras (3,4). Se ha descrito que la alta contaminación hídrica con metales se asocia con altos niveles de éstos entre los habitantes de la región, especialmente menores de edad (5). En general la exposición directa no es la más importante, sino que la ingesta de vegetales que han sido regados con agua contaminada, o el consumo de animales, o sus derivados, que han sido alimentados con estas aguas constituyen la principal fuente de exposición.

Las fuentes del mercurio (Hg) suelen ser más fáciles de identificar que las de plomo (Pb) (6), dado que suelen ser actividades mineras (7). El plomo en los ríos se encuentra mayoritariamente en formas no disueltas o junto a partículas de mineral sedimentado o material orgánico (8). El mercurio cuando es usado en la minería puede llegar directamente a las fuentes hídricas como mercurio elemental. Cuando se usa cianuro (9), el mercurio forma complejos de alta biodisponibilidad que pueden fácilmente ser biometilados, convirtiéndose en formas más nocivas para la salud (10).

El río Bogotá, nace en Villapinzón (3250 msnm) y desemboca en Girardot (280 msnm) después de recorrer 380 Km aproximadamente. Desde cerca de su nacimiento el río recibe contaminantes, sobresaliendo el cromo de las curtiembres y los desechos orgánicos de los alcantarillados de Bogotá y municipios de la cuenca. Esto ocasiona total ausencia de oxígeno y de vida en el río. Después de llegar al embalse del Muña (11), el río cae por el Salto del Tequendama y recupera algo de oxígeno; esto, más la confluencia de ríos menores permite la presencia de algunos seres vivos en la parte más baja del río. Hasta hoy, no se ha identificado que haya extracción de oro en estas regiones, por lo que la contaminación por Hg a través de esta fuente parece no ser importante.

En la región cercana a la desembocadura en el río Magdalena están Agua de Dios, Tocaima, Girardot, y muy cerca Ricaurte, en la ribera del río Magdalena. En esta región se cultiva plátano y arroz, hay actividad pecuaria por lo que es posible que el Pb y el Hg estén siendo acumulados

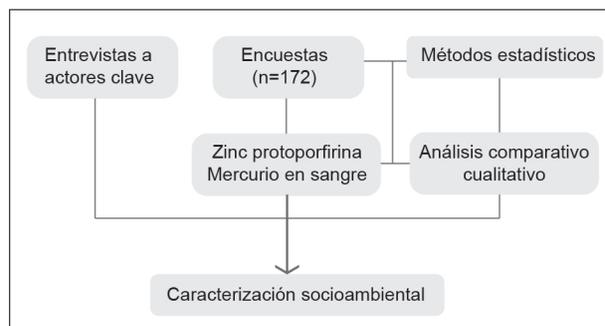
en los alimentos. Es probable que individuos vulnerables tengan exposición por consumo directo del agua del río. Este contexto ha favorecido que grupos de investigadores empiecen a explorar el tema buscando alternativas que disminuyan los riesgos para la salud humana.

En estos municipios hay un reducido número de familias que viven a menos de 50 m del río, con una alta heterogeneidad en el uso del agua, que incluye el consumo animal o humano, el lavado de ropas y el riego de cultivos (12,13). Partiendo de estos hallazgos, este estudio profundizó en la comprensión del problema sanitario: indagó acerca de la percepción de los habitantes sobre la contaminación y los riesgos para la salud asociados, y se identificaron los conjuntos de características que se asocian con mayores niveles de Pb y Hg.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio multi-método en Agua de Dios, Girardot, Ricaurte y Tocaima. Participaron 172 individuos seleccionados aleatoriamente de un total de 1 628 habitantes. Se plantearon tres fases, incluyendo técnicas cualitativas, cuantitativas y de laboratorio con fines de complementación y expansión (14); se buscó reunir los resultados para mejorar la comprensión del fenómeno estudiado, e incrementar los alcances iniciales del estudio de acuerdo a los hallazgos obtenidos (Figura 1).

**Figura 1.** Diseño general del estudio multi-método para entender la exposición a mercurio y plomo



### Métodos cualitativos

Se realizó etnografía basada en observación registrada en video, fotografías, diario de campo, y entrevistas individuales realizadas a líderes comunitarios y un grupo de residentes seleccionados al azar de la vereda Leticia del municipio de Agua de Dios (n=4), los barrios la Victoria

y Brisas del Bogotá de Girardot (n=10), la vereda Manuel sur del municipio de Ricaurte (n=9) y las veredas Pubenza y La Salada de Tocaima (n=8). Los participantes fueron adultos mayores de la región, con más de 10 años viviendo en el lugar, permaneciendo en contacto con el río Bogotá, y siendo líderes o presidentes de acción comunal. Adicionalmente, se realizaron cuatro entrevistas a un grupo conocedor de la región con quienes se buscó profundizar en los hallazgos; éstos se caracterizaron por saber más sobre la historia de la contaminación del río y los efectos adversos percibidos.

Este trabajo fue realizado por una antropóloga, una enfermera y estudiantes de enfermería. Las conversaciones fueron grabadas, transcritas y posteriormente codificadas para ser analizadas por categorías. Los análisis permitieron identificar patrones con saturación teórica en relación a: “relación humano-río”, “consecuencias de la contaminación”, “sentimientos frente al río”, “perspectivas futuras” y “el río como un legado”.

### Encuesta a residentes

Se encuestaron 172 individuos de Agua de Dios (n=25), Girardot (n=71), Ricaurte (n=26) y Tocaima (n=50), residentes en la ribera del río. A todos se les indagó sobre su edad, sexo, escolaridad, frecuencia de consumo de pescado, leche de vaca, banano, tabaco y alcohol, ocupación con exposición al agua del río, y la realización de actividades con exposición a metales. También se preguntó sobre posibles síntomas asociados con la exposición a metales pesados, listados en el manual de toxicología de metales de Nordberg y colaboradores (15).

### Muestras biológicas

A los participantes se les tomaron 7 mL de sangre en tubos Venoject® libres de metales con EDTA. Las muestras permanecieron refrigeradas a 4°C hasta su análisis en el Instituto Nacional de Salud. Se cuantificaron los niveles de Hg total en sangre y de zinc protoporfirina (ZPP), como indicador de la exposición a Pb. El Hg total en sangre fue medido mediante espectrofotometría de absorción atómica por vapor frío, empleando un equipo Lumex RA915® (16). La medición de ZPP se realizó con el hematofluorómetro AVIV (Biomedical® 206). Para los análisis, se consideró exposición cero cuando el laboratorio reportó valores por debajo de los límites de detección. El control externo fue realizado con el Centro Toxicológico de Quebec.

### Métodos estadísticos

Se describieron las variables mediante porcentajes o medianas y valores mínimos y máximos. Los datos de los

municipios fueron comparados mediante pruebas de  $\chi^2$ , exacta de Fisher o Kruskal-Wallis. Luego se realizaron regresiones robustas (17) teniendo como variables dependientes la ZPP y el Hg en sangre. Finalmente, se realizaron curvas de receptor operador (ROC) para explorar la capacidad predictiva de los niveles de ZPP y Hg en la ocurrencia de síntomas.

### Análisis comparativo cuantitativo (QCA)

Se realizó QCA para complementar la aproximación basada en promedios, y porque los hallazgos cualitativos sugerían que había un pequeño grupo de individuos con una mayor exposición a metales. Este método y teoría analítica (18) ha sido utilizado en estudios de salud pública (19,20) para explorar si una o varias combinaciones de atributos (configuraciones) se asocian con un desenlace (18). Permite explorar varias posibles rutas causales, incluyendo valores extremos, a diferencia de los métodos estadísticos convencionales (18). La lógica causal del QCA es similar a los conceptos de causa suficiente y causa necesaria (21,22).

Durante la calibración las variables originales fueron transformadas a valores entre cero (total no membresía al conjunto, letra minúscula) y uno (total membresía al conjunto, letra mayúscula) (23). Las variables dicotómicas asumieron un valor de referencia en la cual consumo de pescado=1 (F), consumo de leche=1 (C), consumo de plátano=1 (B), hábito tabáquico=1 (T), consumo de bebidas alcohólicas=1 (A), ocupaciones con exposición a metales=1 (O) y aficiones con exposición a metales=1 (X). Los niveles de ZPP, Hg en sangre y la edad fueron calibrados mediante estandarización, donde los valores menores y mayores adoptan los puntajes de cero y uno, respectivamente, y el resto puntajes proporcionales de acuerdo al valor original.

Las posibles configuraciones debieron superar dos pruebas. La primera evaluó la consistencia versus la no consistencia, considerada como cumplida cuando la consistencia de la configuración evaluada (y) es mayor que la consistencia de la configuración complementaria (1-y). La segunda prueba evaluó si la consistencia de cada configuración excedió 0,80 para ZPP o 0,70 para Hg. Finalmente, se identificaron las configuraciones más parsimoniosas (24). Tanto los análisis estadísticos como el QCA fueron realizados con el programa estadístico Stata 11 (Stata Corporation, College Station, TX, USA); para QCA se utilizó el macro fuzzy de Longest & Vaisey (25).

## RESULTADOS

### Entrevistas a residentes

Los métodos etnográficos permitieron identificar que la población participante es principalmente adulta mayor;

son generalmente familias nucleares (madres cabeza de familia, con dos o más hijos) con bajo grado de escolaridad con altos niveles de desempleo, especialmente en Agua de Dios y Tocaima. Los que trabajan, son principalmente jornaleros de fincas que reciben menos del salario mínimo legal. Se identificó que los participantes que han vivido por más tiempo en el lugar han sido testigos del incremento en la contaminación del río: «La contaminación del río nos privó de muchas cosas a nosotros, empezando por el empleo.... A los 7 años ya teníamos trabajo porque había mucho trabajo, todo el mundo trabajaba así fuera cortando plátano, caña, ajonjolí, había empleo, pero a raíz de eso ahorita nadie cultiva... los finqueros que hay allí no dan ocupación si no para 5 o 6 personas...» [ind-1]. «Del río salía el agua para tomar, de ahí se lavaba la ropa, nos bañábamos nosotros, con eso crecimos porque también ahí pescábamos, todo era con el río». [ind-2]. «Ahora se ve un pescado diferente, como si hubieran nuevas especies de ellos, yo no sé si por la contaminación empezaron a cambiar....es todos raros y cuando uno los cocinaba salía ese olor a feo, como a petróleo y gasolina». [ind-3]

Según los residentes de la ribera, el río está asociado con trastornos y enfermedades, estas últimas tanto agudas como crónicas: «Eso uno aquí cada nada vive con diarrea, dolor de estómago, gripa, sarpullido, con todo, eso no hay una semana que no nos enfermemos....sí yo le digo que es por culpa de ese río, porque quien no se va a enfermar con esa agua podrida aquí al lado, aunque no nos la tomemos eso enferma... eso no puede ser bueno» [ind-5].

Respecto a las posibles vías de exposición a metales, no resulta muy frecuente que los residentes de la ribera hagan uso directo del agua para consumo. Esto contrasta con los usos en el riego de cultivos, lo cual parece ser una práctica generalizada: «Muchas de estas personas que han permanecido en la zona aun utilizan las aguas del río Bogotá, especialmente para el riego de cultivos, para el consumo animal y para el lavado de ropa, siendo bastante escasas las familias que utilizan este recurso para el consumo humano». [ind-3]. «... es que hoy en día el que la use es solo para rociar las matas... es decir servir la comida en platos lavados con esa agua es servir el veneno. A nivel de la plantas eso es una delicia, usted le echa de esa agua y eso es rapiditico que crece una mata de plátano, son muy bonitas, pero esa planta, ese plátano que nos comemos ya llega contaminado, porque eso se vaporiza de la raíz para arriba, eso sí, todo fruto que usted coseche y le eche de esa agua se da, y por eso nos estamos enfermando y están dando esos canceres». [ind-6]

Parte de la población considera que los residuos sólidos que el río arrastraba han disminuido notablemente y, pese a que el aspecto de esta fuente hídrica sigue siendo oscuro y maloliente, los habitantes consideran que el agua está mejor y que no existe ningún problema en

usarla, incluso con fines medicinales: «Lo único, lo más feo, es la lavada con esa agua tan negra que es, es que es negra, la utilizamos para la loza, para bañarse uno, lo único que no la utilizamos es para comer...porque el río últimamente ya lo han descontaminado y está más limpio de lo que era antes, ya se puede usar». [ind-4]. «Los muchachos cuando le salen granos en la cara se bañan aquí en el río y en menos de una semana esa piel está limpiecita... fue increíblemente cierto y lo confirmé. Y esos niños que se bañan en el río, usted los ve metidos en el río y esos niños nunca se ven enfermos». [ind-5]

Al indagar sobre los lugares a los que se envían los productos regados con agua del río Bogotá, los participantes reportaron que estos alimentos son enviados a los mercados de otros municipios, entre los que sobresale Bogotá.

### Encuesta y biomarcadores

Hubo mayoría de mujeres, con un amplio rango de edad. La escolaridad tiende a ser baja y la mayoría se encuentran afiliados al régimen subsidiado de salud. Respecto a las ocupaciones, si bien la mayoría realizaban actividades en el hogar, es notorio que donde hay más exposición ocupacional al agua del río es en Tocaima y Girardot, donde residen jornaleros, ganaderos o agricultores. Los residentes de Ricaurte son quienes más consumen leche cruda de vaca, mientras que los de Girardot, la consumen en menor cantidad. Ricaurte, también es el municipio en el que más residentes consumen frecuentemente pescado. En relaciones con las actividades extralaborales con potencial exposición a metales, se evidenció una muy baja ocurrencia en Ricaurte. El consumo de banano es más frecuente en Agua de Dios y Tocaima. En relación a los niveles de ZPP, se encontraron valores mayores en Girardot y menores en Agua de Dios. Algo similar se observa para Hg en sangre, donde nuevamente los residentes de Girardot tienen mayores concentraciones y los de Agua de Dios y Ricaurte tienen las más bajas. Las características de los participantes se encuentran en la (Tabla 1).

En la Tabla 2 se encuentran algunos predictores de los niveles de ZPP y Hg en sangre. Las únicas variables asociadas con altos niveles promedio de ZPP fueron el vivir en Girardot o Tocaima, el realizar labores en el hogar, las aficiones con exposición a metales y el consumo de pescado más de una vez a la semana. En el caso del Hg los mayores valores promedio se observaron entre los que tienen residencia en Girardot y aficiones con exposición a metales; también hubo menores valores entre quienes tienen actividades principales en el hogar.

En la Tabla 3 se encuentran los resultados de las curvas ROC que tuvieron las mayores áreas bajo la curva. Como se puede apreciar, los valores de ZPP predicen mejor el

**Tabla 1.** Características de los individuos participantes en la encuesta, según municipio de residencia (n=172)

Variable	Agua de Dios	Girardot	Ricaurte	Tocaima	Valor p
	(n=25)	(n=71)	(n=26)	(n=50)	
<b>Sexo</b>					
Mujer (%)	60,0	71,8	65,4	60,0	0,519
Hombre (%)	40,0	28,2	34,6	40,0	
<b>Edad (años):</b>					
Mediana	29	32	34	32,5	0,970
Mínimo y máximo	(7-62)	(2-58)	(8-53)	(1-65)	
<b>Educación (%)</b>					
Sin estudios	12,0	16,9	3,9	12,0	0,148
Primaria incompleta	32,0	12,7	53,9	20,0	
Primaria completa	24,0	29,6	23,1	22,0	
Secundaria incompleta	20,0	23,9	11,5	20,0	
Secundaria completa	4,0	9,7	3,9	18,0	
Universitaria incompleta	4,0	0	0	0	
Universitaria completa	4,0	7,5	3,9	8,0	
<b>Régimen de salud (%)</b>					
Contributivo	8,0	8,4	15,4	10,0	0,776
Subsidiado	92,0	91,6	84,6	90,0	
<b>Ocupación (%)</b>					
Expuestos a agua del ríoa	8,0	26,8	19,2	32,0	0,003
Otras ocupaciones extra-domiciliariasb	28,0	1,4	15,4	18,0	
Hogar	64,0	71,8	65,4	50,0	0,032
Aficiones con exposición a metalesb (%)	20,0	22,5	0	20,0	
Consumo de leche cruda de vaca (%)	68,0	22,5	73,1	58,0	
<b>Consumo de banano (%)</b>					
Nunca	4,0	7,0	0	2,0	0,012
Ocasionalmente	4,0	0	0	10,0	
Una vez / semana	8,0	22,5	15,4	6,0	
Dos veces / semana	12,0	25,4	26,9	14,0	
Tres veces / semana	0	2,8	0	0	
Diario	72,0	42,3	57,7	68,0	
<b>Consumo de pescado (%)</b>					
Nunca	0	15,5	3,9	10,0	<0,001
Una vez / mes o menos	80,0	38,0	26,9	68,0	
Entre una y tres veces / semana	20,0	46,5	69,2	22,0	
<b>Niveles de ZPP (ug/dL)</b>					
	27	41	30,5	32	<0,001
	(18-42)	(24-82)	(19-70)	(17-70)	
<b>Mercurio en sangre ug/dL</b>					
	1	3	1	2	0,008
	(0-16)	(0-18)	(0-16)	(0-19)	

**Tabla 2.** Coeficientes de regresión robusta ( $\beta$ ) ajustados entre los niveles de ZPP o mercurio total en sangre y algunos potenciales determinantes

Variable	ZPP ( $\mu\text{g/dL}$ )			Hg en sangre ( $\mu\text{g/L}$ )		
	$\beta$	IC 95%		$\beta$	IC 95%	
<b>Residencia</b>						
Agua de Dios	1			1		
Girardot	13,9	9,5	18,4	2,4	0,5	4,3
Ricaurte	4,6	-0,7	9,8	0,6	-1,6	2,9
Tocaima	6,9	2,5	8,3	0,7	-1,3	2,6
<b>Ocupación</b>						
Expuestos a agua del río <sup>a</sup>	1			1		
Otras ocupaciones extra-domiciliarias <sup>b</sup>	-2,6	-7,5	2,3	-1,1	-3,3	1,1
Hogar	4,9	1,7	8,2	-1,7	-3,2	-0,3
Aficiones con exposición a metales	4,1	0,4	7,7	1,5	-0,1	3,2
<b>Consumo de pescado</b>						
Nunca	1					
Una vez / mes o menos	3,7	-1,1	8,5			
Entre una y tres veces / semana	5,9	1,1	10,8			

<sup>a</sup> jornalero, ganadero o agricultor. <sup>b</sup> incluye actividades de mecánica, carpintería, pintura, vitrales y cerámica

**Tabla 3.** Curvas de receptor operador (ROC) entre niveles de ZPP o mercurio total en sangre y la ocurrencia de síntomas (n=172)

Síntoma	ZPP ug/dL		Mercurio ug/L	
	Área ROC	IC 95%	Área ROC	IC 95%
Depresión	0,6	0,5	0,7	
Sangrado nasal	0,7	0,4	1,0	
Pérdida de apetito	0,6	0,5	0,7	
Sudoración			0,6	0,6
Desorientación			0,7	0,5
Nausea			0,6	0,5
Diarrea			0,7	0,5

auto-reporte de depresión, mientras que los de Hg en sangre, la sudoración y la desorientación.

En la Tabla 4 se encuentran las configuraciones observadas y la consistencia y cobertura de las configuraciones reducidas. Nótese que la mayor parte de los participantes presentan las configuraciones F\*C\*B\*A\*o\*x\*t, F\*C\*B\*A\*o\*x\*t, F\*c\*B\*A\*o\*x\*t, F\*c\*B\*A\*o\*x\*T y F\*c\*B\*a\*o\*x\*t, que suman 65,12% del total de casos. Al hacer las reducciones se observó que sólo una configuración para ZPP y otra para

Hg se asocian con los mayores niveles. Estas son F\*C\*-B\*a\*o\*x\*T para ZPP, que tiene una alta consistencia aunque una bajísima cobertura, lo cual sugiere que son individuos altamente vulnerables y, quizá, excluidos. Algo similar ocurre en el caso del Hg, donde solo la configuración F\*C\*-B\*A\*o\*X\*t se asoció con los mayores valores; en este caso la consistencia fue aceptable y la cobertura fue tres veces superior a la de ZPP, lo cual sugiere que es más frecuente este tipo de individuos con mayor riesgo de efectos por el Hg.

**Tabla 4.** Tabla de verdad y configuraciones reducidas asociadas con altos niveles de ZPP y mercurio en sangre en poblaciones ribereñas del río de Bogotá

Configuración	n	%	ZPP		Hg en sangre	
			Consistencia	Cobertura	Consistencia	Cobertura
F*C*B*A*O*X*T	2	1,2				
F*C*B*A*O*X*t	3	1,7				
F*c*B*A*O*x*t	3	1,7				
F*c*B*A*O*x*T	4	2,3				
F*C*B*A*o*X*T	1	0,6				
F*c*B*A*o*x*t	10	5,8			0,785	0,100
F*c*B*A*o*x*T	9	5,2				
F*C*B*A*o*X*t	29	16,9				
F*c*B*a*O*x*t	4	2,3				
F*c*B*a*O*x*T	1	0,6				
F*c*B*a*o*X*t	10	5,8				
F*c*B*a*o*x*T	3	1,7	0,906	0,032		
F*c*B*a*o*x*t	55	32,0				
F*c*b*A*O*x*T	1	0,6				
F*c*b*A*o*x*t	1	0,6				
F*c*b*a*o*x*t	2	1,2				
F*c*B*A*O*x*T	1	0,6				
F*c*B*A*O*x*t	1	0,6				
F*c*B*A*o*x*T	1	0,6				
F*c*B*A*o*x*t	4	2,3				
F*c*B*a*o*x*t	9	5,2				
F*c*b*A*o*X*T	1	0,6				
f*C*B*A*O*X*T	1	0,6				
f*C*B*A*o*x*T	1	0,6				
f*c*B*A*o*x*t	1	0,6				
f*c*B*a*O*x*t	1	0,6				
f*c*B*a*o*x*T	1	0,6				
f*c*B*a*o*x*t	2	1,2				
f*c*B*a*o*x*t	7	4,1				
f*c*b*a*o*x*t	2	1,2				
f*c*B*A*o*x*t	1	0,6				

Las mayúsculas corresponden a tener el atributo y la minúscula a no tenerlo. Los atributos incluidos fueron: consumo de pescado (F), consumo de leche (C), consumo de plátano (B), consumo de bebidas alcohólicas (A), ocupaciones con exposición a metales (O), aficiones con exposición a metales (X) y hábito tabáquico (T).

## DISCUSIÓN

El principal hallazgo es que no hay concentraciones elevadas de Hg o ZPP. Esto puede ser porque los individuos son conscientes de la contaminación del río, la población expuesta a metales mediante los alimentos está fuera de la región, donde para el comprador no es fácil rastrear su relación con la contaminación del río. Este tipo de situaciones han sido reportadas en otros países, donde la contaminación hídrica por metales también es un problema sanitario (26).

Diversos estudios han explorado los niveles de metales en agua de los ríos colombianos. El interés por la contaminación con metales de los ríos colombianos y la salud humana viene desde hace más de 25 años, siendo los valores de plomo bajos (27), lo cual contrasta con el de Hg que puede ser alto en regiones con minería aurífera. Las problemáticas hídricas con el Hg se presentan en varias regiones del país (28), sobresaliendo La Mojana (29,30) y otras zonas del caribe colombiano (3,7), Antioquia (31), la Orinoquía y Amazonía colombiana (4).

La acumulación de metales en los peces es importante porque se sabe es uno de los alimentos que más podría incrementar la exposición. Con relación al Hg hay varios estudios en el país que muestran altos niveles de Hg en peces para consumo humano (32), que se espera no esté ocurriendo en la región estudiada dadas las condiciones no propicias para la vida acuática. En relación con el Pb, no es mucha la evidencia al respecto (33). Uno de los principales lugares donde esta contaminación es transportada es la capital colombiana. Al respecto un estudio poblacional reportó que los niveles de Hg y Pb en Bogotá son bajos (34).

La encuesta tuvo como limitación la poca variabilidad en los niveles de metales, lo cual pudo dificultar el observar asociaciones con otras variables. Sin embargo, la triangulación de los datos permitió verificar la validez de los hallazgos. El estudio aprovechó la flexibilidad de los estudios cualitativos para complementar y expandir los análisis, más allá de lo inicialmente proyectado siguiendo los resultados de las fases previas. En el caso del Pb, si bien no se midió directamente, el uso de la ZPP como aproximación resulta válido, ya que es un biomarcador de efecto; valores superiores a 54  $\mu\text{g}/\text{dL}$  se observan en individuos con Pb en sangre superior a 40  $\mu\text{g}/\text{dL}$  (35). En este estudio muy pocos individuos tuvieron estos valores.

Esta situación con los metales es diferente en relación con la contaminación orgánica presente en el río. Si bien no era el objetivo de este trabajo, en el componente etnográfico fue evidente que la población entiende el río como riesgoso por la contaminación microbiológica; incluso, relaciona esta contaminación con enfermedades infecciosas,

principalmente del tracto digestivo. Esta es sin duda un área de especial interés para futuras investigaciones.

En conclusión, la contaminación por Pb y Hg en el río Bogotá no presenta un riesgo elevado de exposición y, por consiguiente, de efectos en la salud humana. La contaminación por metales es un problema que se extiende a quienes consumen los productos vegetales y animales producidos en las riberas del río, pero que se encuentran en lugares lejanos. Sin embargo, esta generalidad no excluye de casos específicos en los que confluyen varios atributos y pueden verse más afectados; los hallazgos sugieren que esto sucede en un muy reducido número de individuos, que son precisamente los que están en mayor nivel de vulnerabilidad social. De esta manera se configura una evidente injusticia ambiental que podrá ser intervenida mediante cambios que procuren disminuir la pobreza y la vulnerabilidad social ♦

**Agradecimientos:** A los químicos Andrés Monroy y Cristian Fonseca del Instituto Nacional de Salud por el procesamiento de las muestras de laboratorio.

**Financiación:** Este proyecto fue financiado por el Instituto Nacional de Salud y la Universidad de Cundinamarca.

**Conflictos de interés:** Ninguno.

## REFERENCIAS

1. The World Bank. World development indicators. Washington: The World Bank, 2012. [Internet] <http://bit.ly/2mtAPL0>.
2. Sánchez-Triana E, Ahmed K, Awe Y. Water management in a water-rich country. In: Environmental priorities and poverty reduction. A country environmental analysis for Colombia. The World Bank Washington; 2007.
3. Olivero J, Mendoza C, Mestre J. Mercurio en cabello de diferentes grupos ocupacionales en una zona de minería aurífera en el Norte de Colombia. Rev. Saúde Pública. 1995; 29:376-379.
4. Idrovo AJ, Manotas LE, Villamil de García G, Romero SA, Ortiz J, Azcárate CE, Silva E. Niveles de mercurio y percepción del riesgo entre una población minera aurífera del Guainía (Orinoquía colombiana). Biomédica. 2001; 21: 134-141.
5. Chen J, Tong Y, Xu J, Liu X, Li Y, Tan M, Li Y. Environmental lead pollution threatens the children living in the Pearl River Delta region, China. Environ Sci Pollut Res Int. 2012;19:3268-3275. DOI: 10.1007/s11356-012-0837-9.
6. Anticona C, Bergdahl IA, Lundh T, Alegre Y, Sebastian MS. Lead exposure in indigenous communities of the Amazon basin, Peru. Int J Hyg Environ Health. 2011; 215:59-63.
7. Olivero J, Caballero K, Negrete J. Relationship between localization of gold mining areas and hair mercury levels in people from Bolivar, North of Colombia. Biol Trace Elem Res. 2011; 144:118-32. DOI: 10.1007/s12011-011-9046-5.
8. ATSDR. Toxicological profile for lead. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Atlanta, GA: U.S.; 2007.
9. Güiza L, Aristizábal JD. Mercury and gold mining in Colombia: a failed state. Univ Sci. 2013; 18: 33-49. DOI: 10.11144/Javeriana.SC18-1mgmc.

10. Telmer KH, Veiga MM. World emissions of mercury from artisanal and small scale gold mining. In: Pirrone N, Mason R. (eds.). Mercury fate and transport in the global atmosphere. Emissions, measurements and models. Dordrecht, The Netherlands: Springer; 2009. pp. 131-172.
11. Sarmiento MI, Idrovo AJ, Restrepo M, Díaz MP, González A. Evaluación del impacto de la contaminación del embalse del Muña sobre la salud humana. *Rev Salud Pública (Bogotá)*. 1999; :157-171.
12. Díaz JC, Sánchez CI, Ramírez JE, Cartagena E, Molano J, Méndez S, Lara JA. Implementación de estrategias promocionales en salud que contribuyan a la generación de estilos de vida saludable en la población localizada en la planicie aluvial baja del río Bogotá, expuesta a la contaminación por mercurio, plomo y cadmio. *Investigación en Enfermería: Imagen y Desarrollo*. 2009; 11: 7-31.
13. Sánchez CI, Ramírez JE, Cartagena E, Díaz JC. Perfil socio demográfico y epidemiológico de la población expuesta a la contaminación por mercurio, plomo y cadmio, ubicada en la vereda Manuel Sur del municipio de Ricaurte y los barrios Brisas del Bogotá y La Victoria del municipio de Girardot. *Investigación en Enfermería: Imagen y Desarrollo*. 2010; 12: 94-116.
14. Greene JC, Caracelli VJ, Graham WF. Toward a conceptual framework for mixed-method evaluation designs. *Educ Eval Pol Anal*. 1998; 11: 255-74.
15. Nordberg M, Nordberg GF, Fowler BA, Friberg L. Handbook on the toxicology of metals. 3rd edition. London: Elsevier; 2007.
16. EPA. Method 1631, Revision E: Mercury in water by oxidation, purge and trap and cold vapor atomic fluorescence spectrometry. Environmental Protection Agency. Washington, D.C., EUA; 2002.
17. Berk RA. A primer on robust regression. Modern methods of data analysis. In: Fox J, Long JS (editors). Newbury Park, CA: Sage; 1990.
18. Rihoux B, Ragin CC. Configurational comparative methods. Qualitative comparative analysis (QCA) and related techniques. Los Angeles: Sage Publications; 2009.
19. Schensul JJ, Chandran D, Singh SK, Berg M, Singh S, Gupta K. The use of qualitative comparative analysis for critical event research in alcohol and HIV in Mumbai, India. *AIDS Behav*. 2010; 14:113-125.
20. Ortega-Marin L, Márquez-Serrano M, Lara-López LM, Moncada LI, Idrovo AJ. Effect of households' social networks on lice infestation among vulnerable Mexican children: a qualitative comparative analysis. *J Trop Pediatr*. 2013; 59:413-418.
21. Rothman KJ. Causes. *Am J Epidemiol*. 1976; 104:587-592.
22. Idrovo AJ, Albavera-Hernández C, Rodríguez-Hernández JM. Social epidemiology of a large outbreak of chickenpox in the Colombian sugar cane producer region: a set theory-based analysis. *Cad Saude Publica*. 2011; 27: 1393-1402.
23. Ragin CC. Fuzzy set analysis: Calibration versus measurement. In: Box-Steffensmeier J, Brady H, Collier D (editors). Oxford handbook of political methodology. Oxford: Oxford University Press; 2008.
24. Ragin CC. Set relations in social research: evaluating their consistency and coverage. *Pol Anal*. 2006; 14:291-310.
25. Longest KC, Vaisey S. Fuzzy: A program for performing qualitative comparative analysis (QCA) in Stata. *Stata J*. 2008; 8:79-104.
26. Cifuentes E, Villanueva J, Sanin LH. Predictors of blood lead levels in agricultural villages practicing wastewater irrigation in Central Mexico. *Int J Occup Environ Health*. 2000; 6:177-82.
27. Interamerican Group for Research in Environmental Epidemiology. The health of Latin Americans exposed to polluted rivers: a triple-blind observational study. *Int J Epidemiol*. 1990; 19:1091-1099.
28. Casas IC, Gómez E, Rodríguez LM, Girón SL, Mateus JC. Hacia un plan nacional para el control de los efectos en salud del mercurio en Colombia. *Biomédica*. 2015; 35:30-37.
29. Calao CR, Marrugo JL. Efectos genotóxicos en población humana asociados a metales pesados en la región de La Mojana, Colombia, 2013. *Biomédica*. 2015; 35(supl.1).
30. Argumedo MP, Vergara C, Vidal JV, Marrugo JL. Evaluación de la concentración de mercurio en arroz (*Oryza sativa*) crudo y cocido procedente del municipio de San Marcos– Sucre y zona aurífera del municipio de Ayapel – Córdoba. *Salud UIS*. 2015; 47:65-73.
31. Cordy P, Veiga MM, Salihi I, Al-Saadi S, Console S, Garcia O, Mesa LA, 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, 154-160.
32. Alvarez S, Jessick AM, Palácio JA, Kolok AS. Methylmercury concentrations in six fish species from two Colombian rivers. *Bull Environ Contam Toxicol*. 2012; 88:65-68.
33. Rodríguez-Forero A, González-Mantilla JF, Suárez-Martínez R. Accumulation of lead, chromium, and cadmium in muscle of capitán (*Eremophilus mutisii*), a catfish from the Bogota River basin. *Arch Environ Contam Toxicol*. 2009; 57: 359-65.
34. Osorio-García SD, Hernández-Flórez LJ, Sarmiento R, González-Álvarez YC, Perez-Castiblanco DM, Barbosa-Devia MZ, Ruiz A, et al. Prevalencia de mercurio y plomo en población general de Bogotá 2012/2013. *Rev Salud Pública (Bogotá)*. 2014; 16:621-628. DOI:10.15446/rsap.v16n4.38675.
35. Suga RS, Fischinger AJ, Knoch FW. Establishment of normal values in adults for zinc protoporphyrin (ZPP) using hematofluorometer: correlation with normal blood lead values. *Am Ind Hyg Assoc J*. 1981; 42:637-642.