

Zonas de exposición ambiental a mercurio y relación con marcadores biológicos en población de Bogotá

Environmental Areas Exposed to Mercury and a Relationship Against Biomarkers in Bogotá Population

Zonas de Exposição Ambiental a Mercúrio e Relação com Marcadores Biológicos na População de Bogotá

Dayana Ruiz-Bogotá¹
Diana María Pérez-Castiblanco²
Yady Cristina González-Álvarez³
María Zaideé Barbosa-Devia⁴
Mónica Rocío Correal Otálora⁵
Jesús Antonio Reyes-Calderón⁶

Resumen

Introducción: El mercurio es un metal pesado, potencialmente tóxico para los ecosistemas y los seres humanos. En Bogotá no se realizan mediciones directas y no se cuenta con un mapa distrital de concentraciones de dicho contaminante. **Objetivo:** Establecer si hay una posible relación entre las zonas de exposición ambiental a mercurio y las concentraciones encontradas en marcadores biológicos de población general de Bogotá-Colombia, 2012/2013. **Materiales y métodos:** Estudio descriptivo como análisis secundario de las concentraciones de los marcadores biológicos de mercurio obtenidas de la investigación “Prevalencia de mercurio y plomo en población general de Bogotá 2012/2013” y la construcción de un mapa de zonas de exposición ambiental por este contaminante, con el fin de determinar posibles relaciones de exposición, por medio de razones de prevalencia y prueba χ^2 . **Resultados:** Edad promedio de 46,5 años, rango de 3-91; el 74,8 % eran mujeres. Promedio de mercurio de 0,29 $\mu\text{g/L}$ en orina, 3,13 $\mu\text{g/L}$ en sangre y 1 $\mu\text{g/g}$ en cabello. Se encontró que los promedios de las concentraciones de mercurio fueron superiores en la zona de exposición alta; sin embargo, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones de mercurio por zonas de exposición. **Conclusión:** La contaminación por Hg es una problemática de toda la ciudad, posiblemente asociada

1 Ingeniera Química, del Área de Vigilancia Sanitaria y Ambiental, en la Dirección de Salud Pública del Hospital Vista Hermosa.

2 Especialista en Salud Ocupacional y Gestión Ambiental, Línea de Seguridad Química, del Hospital Vista Hermosa.

3 Especialista en epidemiología, Línea de Seguridad Química, Área de Vigilancia en Salud Pública, de la Secretaría Distrital de Salud.

4 Especialista en Epidemiología, Línea de Seguridad Química, Área de Vigilancia Sanitaria y Ambiental, Dirección de Salud Pública, del Hospital de Vista Hermosa.

5 Geógrafa. Línea de Seguridad Química, Área de Vigilancia Sanitaria y Ambiental. Dirección de Salud Pública. Hospital de Vista Hermosa.

6 Estadístico en Salud, Área de Vigilancia Sanitaria y Ambiental, Dirección de Salud Pública del Hospital Vista Hermosa.

con variables no ambientales que no fueron tenidas en cuenta en el estudio, como el consumo de productos derivados de la pesca. Se requiere realizar mediciones directas de mercurio en aire para generar mapas de exposición al contaminante en la ciudad.

Palabras clave: mercurio, contaminación ambiental, marcadores biológicos (MeSH). Exposición a riesgos ambientales, metales pesados (DeCS).

Abstract

Introduction: Mercury is a potentially toxic heavy metal for ecosystems and humans. In Bogota area, there are not direct measurements and there is not any district map of concentrations of such a pollutant. **Objective:** Establishing a possible relation between areas of environmental exposed against mercury and the relevant concentrations found in biomarkers of overall population in Bogota, Colombia, 2012/2013. **Materials and methods:** A descriptive study as a secondary analysis of the mercury biomarker concentrations got from research “Mercury-and-lead prevalence in overall population, Bogota 2012/2013”, and mapping environmental exposure areas by this pollutant in order to establish potential exposure ratios through prevalence ratios and chi-square test. **Results:** 46,5-year mean age; range (3-91); 74,8 % women, average mercury 0,29 µg/L urine, 3,13 µg/L blood, 1 µg/g hair, resulting mercury concentrations averages higher within the high exposure area, however, there were no statistically significant differences between mercury concentrations by exposure areas. **Conclusion:** Hg contamination is a problematic issue of the whole city, maybe related to non-environmental variables not taken into account in the study, such as the consumption of fishery products. Direct air mercury measurements are required to map pollutant exposure against the city.

Keywords: mercury, environmental pollution, biomarkers (MeSH). Exposure against environmental hazards, heavy metals (DeCS).

Resumo

Introdução: O mercúrio é um metal pesado potencialmente tóxico para os ecossistemas e os seres humanos. Em Bogotá não se realizam medições diretas e também não se conta com um mapa distrital de concentrações do dito contaminante. **Objetivo:** Estabelecer si existe uma possível relação entre zonas de exposição ambiental a mercúrio e as concentrações achadas nos marcadores biológicos da população geral de Bogotá-Colômbia, 2012/2013. **Materiais e métodos:** Estudo descritivo como análise secundário das concentrações dos marcadores biológicos de mercúrio obtidas da pesquisa de “Prevalência de mercúrio e chumbo na população geral de Bogotá 2012/2013” e a elaboração de um mapa de zonas de exposição ambiental por esse contaminante para determinar possíveis relações de exposição através de razões de prevalência e prova χ^2 . **Resultados:** Idade média 46,5 anos; rango 3-91; 74,8 % mulheres média de mercúrio, 0,29 µg/L urina; 3,13 µg/L sangue; 1 µg/g cabelos. Achou-se que as médias das concentrações de mercúrio foram superiores na zona de alta exposição, no entanto, não se apresentaram diferencias estatisticamente significativas entre as concentrações de mercúrio por zonas de exposição. **Conclusão:** A contaminação por Hg é uma problemática da cidade toda, possivelmente associada com variáveis não ambientais que não foram levadas em conta no estudo, como o consumo de produtos derivados da pesca. Precisam-se realizar medições diretas de mercúrio no ar a fim de gerar mapas de exposição ao contaminante na cidade.

Palavras chave: mercúrio, contaminação ambiental, marcadores biológicos (MeSH). Exposição a riscos ambientais, metais pesados (DeCS).

Introducción

El mercurio (Hg) es un metal pesado, potencialmente tóxico para los ecosistemas y los seres humanos (1,2); se libera al ambiente por fuentes naturales y antropogénicas, y puede encontrarse en diversas formas, como Hg elemental gaseoso (Hg^0), Hg divalente (Hg^{2+}), Hg particulado (PHg) y Hg orgánico (principalmente, metilmercurio) (3,4). Esta última se considera una de las formas más tóxicas del Hg (5,6). Por sus características fisicoquímicas, el Hg tiene la facilidad de transportarse de un lugar a otro y de bioacumularse en los organismos, lo que le permite avanzar en la cadena alimentaria (4). Dentro de los principales efectos a la salud del ser humano, se destacan los daños al sistema nervioso en desarrollo; así, los niños y las mujeres embarazadas son los más vulnerables a los efectos del Hg. En los niños puede causar disminución de coeficiente intelectual y dificultades de aprendizaje y concentración (7).

Durante los últimos años se han consolidado documentos con información actualizada sobre fuentes de liberación de Hg, toxicología y repercusiones de dicho metal sobre la salud del ser humano y el medio ambiente (8-10), lo que demuestra que hay suficiente evidencia de los impactos y efectos de la contaminación por Hg; ello justifica las acciones internacionales, regionales y locales para la disminución de las emisiones y la búsqueda de soluciones al uso del Hg.

Organizaciones como el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) exhortó a todos los países a establecer metas y a emprender acciones para identificar a las poblaciones en riesgo, reducir las liberaciones generadas por los seres humanos y minimizar la exposición (11,12). Dentro de dichas acciones se destacan la construcción de inventarios de usos y de emisiones de Hg, así como la identificación de los lugares más contaminados. En Latinoamérica, Chile, Ecuador y Panamá han realizado inventarios de Hg apoyados por el PNUMA (12-14).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera la concentración normal de mercurio en sangre, en la población general, entre 5 y 10 $\mu\text{g/L}$; mercurio en cabello, entre 1 y 2 $\mu\text{g/g}$ (15); por su parte, la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) considera que el rango normal en orina es $< 20 \mu\text{g/L}$ (16).

A escala mundial, la minería del oro artesanal es considerada la principal fuente de liberación de Hg al ambiente, con cerca del 35 % de las emisiones mundiales (9). Otras fuentes importantes de emisión de Hg son la combustión de carbón, la fundición de metales, la industria cementera, la industria de cloro-álcali y la incineración de residuos (17,18). Lo anterior es relevante debido a que algunos estudios han informado concentraciones de Hg más altas en áreas en las que hay mayor actividad industrial y flujo vehicular (17).

Según Mercury Watch Database, Colombia se sitúa entre los países con mayores emisiones de Hg, debido a la minería del oro artesanal y de pequeña escala (19-21). En el país se han realizado esfuerzos para mejorar el conocimiento sobre la problemática del Hg (20) y se han desarrollado estudios para determinarlo en marcadores biológicos de población expuesta ocupacionalmente (22-24).

En Bogotá, la Secretaría Distrital de Salud (SDS) realizó, entre 2012 y 2013, el estudio denominado “Prevalencia de mercurio y plomo en población general de Bogotá 2012/2013”, por medio del cual se construyó un mapa de exposición ambiental que incluyó información para dos contaminantes (Hg y Pb), y determinó la posible asociación entre zonas de exposición ambiental y el aumento de las concentraciones de Hg y Pb en marcadores biológicos; como resultado de dicho estudio, no se encontró relación significativamente estadística respecto a la relación planteada (25).

A partir del trabajo realizado, se construyó un nuevo mapa de exposición ambiental específico para Hg, y se planteó como objetivo principal del presente estudio la determinación de posibles relaciones entre las nuevas zonas de exposición ambiental y el aumento de las concentraciones de Hg en marcadores biológicos, de acuerdo con los hallazgos del estudio denominado “Prevalencia de mercurio y plomo en población general de Bogotá 2012/2013”.

Materiales y métodos

Diseño y tipo de estudio

Se realizó un estudio descriptivo como análisis secundario de las concentraciones de los marcadores biológicos de mercurio obtenidas del estudio de “Prevalencia de mercurio y plomo en población general de

Bogotá 2012/2013” y la construcción de un mapa de zonas de exposición a mercurio, para determinar posibles relaciones de exposición por medio de razones de prevalencia y prueba χ^2 .

Población y muestra

La población objeto de estudio fueron los participantes del estudio “Prevalencia de mercurio y plomo en población general de Bogotá 2012/2013”, cuya muestra se estimó utilizando las proyecciones de población del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) para el 2012 (nivel de confianza del 95 %, error estimado del 5 %). A la muestra calculada se le adicionó un 4 %, para un total de 401 participantes.

Recolección de información

Los datos de concentración de Hg en marcadores biológicos y los datos sociodemográficos de la población en estudio se tomaron del estudio “Prevalencia de mercurio y plomo en población general de Bogotá, zonas de exposición ambiental y efectos en salud”.

La aproximación a la exposición ambiental a Hg se realizó por medio de la elaboración de un mapa que dividió a Bogotá en tres zonas de exposición ambiental (alta, media y baja). La determinación de estas zonas se logró luego de considerar siete variables relacionadas con emisiones de Hg, de acuerdo con lo consultado en la literatura y en la información disponible en las entidades del distrito, así:

- Variable 1. Uso de carbón como combustible: base de datos de establecimientos que usan carbón como combustible del área de fuentes fijas de la SDA.
- Variable 2. Empresas fundidoras: base de datos de industrias que realizan procesos de fundición de metales, área de fuentes fijas de la SDA.
- Variable 3. Bodegas de reciclaje: inventario de bodegas de reciclaje de la Secretaría Distrital de Planeación (SDP).
- Variable 4. Establecimientos con residuos peligrosos: base de datos de generación y manejo de residuos o desechos peligrosos de la SDA.
- Variable 5. Industrias con uso de Hg en procesos productivos: base de datos de *mapa de industria y ambiente* de la SDS.
- Variable 6. Fuentes móviles: base de datos de la Secretaría Distrital de Movilidad (SDM).

- Variable 7. Establecimientos con vertimientos: base de datos de la Oficina de Control de Calidad y Uso del Agua de la SDA.

Método de laboratorio

Las muestras biológicas se analizaron en el Laboratorio de Salud Pública de la SDS. El contenido de Hg total se determinó mediante el método 7473 de la Environmental Protection Agency (EPA), denominado “Hg en sólidos y soluciones por descomposición térmica, amalgamación y espectrofotometría de absorción atómica”, con el *analyzer directo de mercurio* (DMA 80) de Milestone. Este fue diseñado para la determinación directa de Hg total en muestras biológicas, contra estándares en solución acuosa o estándares de matriz certificada; el límite de detección del equipo para este ensayo en sangre y orina es de 0,019 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (0,0019 ng) de mercurio total, y para cabello, de 0,0012 $\mu\text{g}/\text{g}$ de mercurio total.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis descriptivo que incluyó la caracterización sociodemográfica del grupo estudiado, a partir de la distribución de frecuencias absolutas y relativas para las variables cualitativas; para las variables cuantitativas se realizó el cálculo de estadísticas de tendencia central y dispersión, como promedio, mediana, cuartiles, rango y desviación estándar.

Se realizó un análisis descriptivo mediante frecuencias e indicadores de tendencia central y variabilidad; para evaluar la relación entre alguna concentración de Hg, respecto a las tres zonas de exposición ambiental, se obtuvieron prevalencias, razones de prevalencia y se aplicó la prueba de χ^2 , utilizando los paquetes estadísticos SPSS V.21 y Epidat V.3. Finalmente, se identificaron las concentraciones superiores a los valores de referencia dados por la OMS y la EPA, y se repitió el mismo procedimiento para evaluar la posible asociación entre dichas concentraciones de Hg respecto a las tres zonas de exposición ambiental.

Resultados

Se realizaron mediciones en 401 personas. En relación con las características sociales y demográficas, se observó que el promedio de edad de los participantes fue de 46,5 años, con un rango de 3-91 años; el 74,8 % ($n = 300$)

fueron mujeres. El grupo de edad con mayor participación fue el de 27-59 años, con el 64,3 % ($n = 258$); los estratos 4, 5 y 6 estuvieron representados por el 5,2 % ($n = 21$) de los participantes; la ocupación más frecuente fue ama de casa, con el 45,1 % ($n = 181$) (tabla 1).

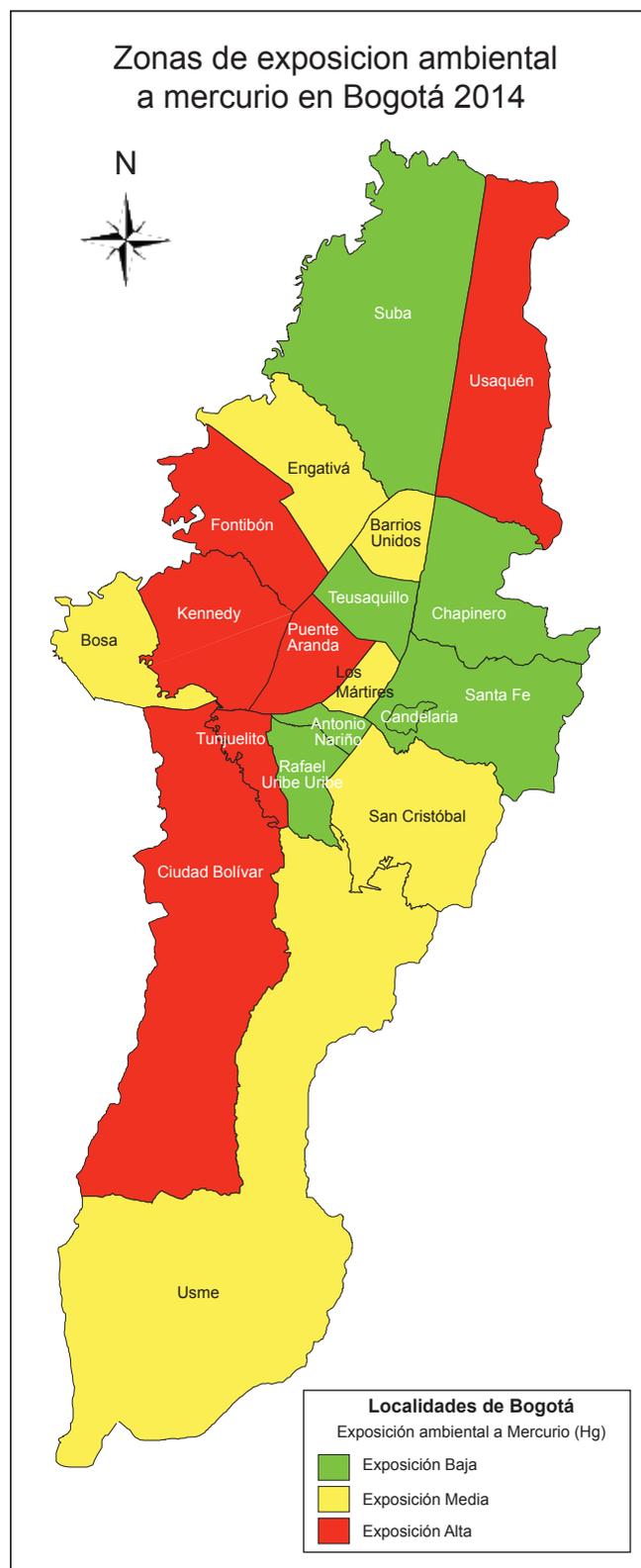
Tabla 1. Características sociodemográficas de la población objeto de estudio

Variable		Frecuencia absoluta n (%)	Frecuencia acumulada n (%)
Sexo	Femenino	300 (74,8)	-
	Masculino	101 (25,2)	-
Edad (Años)	<=5	5 (1,3)	5 (1,3)
	6-16	11 (2,7)	16 (3,9)
	17-26	35 (8,7)	51 (12,7)
	27-59	258 (64,3)	309 (77,0)
	60 y +	92 (22,9)	401 (100,0)
	Estrato socioeconómico	1	59 (14,7)
2		195 (48,6)	254 (63,3)
3		126 (31,4)	380 (94,8)
4		16 (4,0)	396 (98,7)
5		4 (1,0)	400 (99,7)
6		1 (0,2)	401 (100,0)
Nivel educativo	Analfabeta	8 (2,0)	8 (2,0)
	Preescolar	1 (0,2)	9 (2,2)
	Primaria	135 (33,6)	144 (35,9)
	Secundaria	177 (44,1)	321 (80,0)
	Técnico	44 (10,9)	365 (91,0)
Ocupación	Universitaria	36 (8,9)	401 (100,0)
	Ama de casa	181 (45,1)	181 (45,1)
	Otras ocupaciones	157 (39,1)	338 (84,3)
	Estudiante	26 (6,5)	364 (90,8)
	Auxiliar en ventas	24 (6)	388 (96,8)
	Obreros de construcción	6 (1,5)	394 (98,3)
	Auxiliar de Servicios de Salud	4 (1,0)	398 (99,3)
	Reciclaje de baterías	2 (0,5)	400 (99,8)
	Artesanías con metales	1 (0,3)	401 (100,0)

Fuente: Hospital Vista Hermosa, Secretaría Distrital de Salud.

Como resultado de la construcción del mapa de exposición, se determinó que la zona de alta exposición está ubicada principalmente al suroccidente de la ciudad (figura 1).

Figura 1. Mapa de las zonas de exposición ambiental al mercurio (Hg)



Fuente: Hospital Vista Hermosa, Secretaría Distrital de Salud.

La media de Hg en cabello fue de 1 $\mu\text{g/g}$, en sangre de 3,12 $\mu\text{g/L}$, y en orina de 0,29 $\mu\text{g/L}$ (tabla 2).

Tabla 2. Estadísticas descriptivas de las concentraciones de Hg en marcadores biológicos

	Mercurio		
	Orina [µg/L]	Sangre [µg/L]	Cabello [µg/g]
Mínimo	0	0	0
Percentil 25	0	0,431	0,309
Mediana	0	1,686	0,691
Percentil 75	0,362	3,932	1,299
Máximo	5,721	29,897	10,077
Media			
Mujeres	0,275	29,836	0,962
Hombres	0,351	35,523	11,236
Total	0,294	3,127	1,003
Desviación típica	0,574	4,397	1,116
Valor referencia internacional	(OMS)	10	2
	(EPA)	20	

Fuente: Hospital Vista Hermosa, Secretaría Distrital de Salud.

En la zona de alta exposición quedó ubicado el mayor número de participantes, con el 35,91 % ($n = 144$) de las personas; la distribución de participantes no fue uniforme en las tres zonas (tabla 3).

Tabla 3. Número de personas por zona de exposición ambiental

Zona de exposición	Mercurio $n = 401$ n (%)	
	Baja	116
Media	141	35,2
Alta	141	35,9

Fuente: Hospital Vista Hermosa, Secretaría Distrital de Salud.

Se encontró que los promedios de las concentraciones de Hg fueron similares en las tres zonas de exposición (tabla 4).

Tabla 4. Descripción de las concentraciones de marcadores biológicos por zona de exposición

Marcador biológico	Mercurio	
	Zona de n %, media (DS)*, rango, exposición	
Hg en orina, $n = 191$	Baja	55 47,4 0,3 (0,5) 0-2,6
	Media	66 46,8 0,3 (0,5) 0-2,8
	Alta	70 48,6 0,3 (0,7) 0-5,7
Hg en sangre $n = 352$	Baja	105 90,5 2,9 (4,9) 0-28,5
	Media	134 95 3,0 (3,7) 0-23,5
	Alta	113 78,5 3,4 (4,7) 0-29,9
Hg en cabello $n = 397$	Baja	115 99,1 0,9 (1,1) 0-6,9
	Media	141 100 1 (0,9) 0,01-5,7
	Alta	141 7,9 1,2 (1,3) 0-10,0

*Desviación estándar (DS).

Fuente: Hospital Vista Hermosa, Secretaría Distrital de Salud.

Se halló diferencia significativa entre la zona alta respecto a la zona baja para el marcador biológico Hg en sangre (tabla 5). Los resultados de la prueba χ^2 enuncian diferencia estadísticamente significativa para mercurio en sangre (tabla 6).

Para el marcador biológico sangre, el mayor número de casos con niveles de Hg superiores a los valores de referencia dados por la OMS se encontró en la zona baja, con el 7,75 %. Para el marcador biológico cabello, el mayor número de casos con niveles de mercurio superiores a los valores de referencia se encontró en la zona alta, con 15,97 % del total de casos altos. Para Hg en orina no se informaron casos con niveles superiores a los valores de referencia internacional (tabla 7).

Tabla 5. Razón de prevalencia entre zona de exposición por marcador biológica

Biomarcador	Zona de exposición	RP	IC (95 %)	
Hg en orina	Baja	1,000	-	-
	Media	0,987	0,761	1,280 (Katz)
	Alta	1,025	1,794	1,322 (Katz)
Hg en sangre	Baja	1,000	-	-
	Media	1,049	0,979	1,126 (Katz)
	Alta	0,866	0,781	0,961 (Katz)
Hg en cabello	Baja	1,000	-	-
	Media	1,008	0,991	1,026 (Katz)
	Alta	0,987	0,959	1,017 (Katz)

Razón de prevalencia (RP), Intervalo de confianza (IC)

Fuente: Hospital Vista Hermosa, Secretaría Distrital de Salud.

Tabla 6. Resultados de la prueba χ^2

Marcador biológico	χ^2
Hg en orina	0,953
Hg en sangre	0,000
Hg en cabello	0,206

Fuente: Hospital Vista Hermosa, Secretaría Distrital de Salud.

Tabla 7. Niveles altos de mercurio por zona de exposición

Zona de exposición	Mercurio					
	Sangre $n = 26$			Cabello $n = 48$		
	n	(%)	Media	N	(%)	Media
Baja	9	(7,8)	17,4	12	(10,3)	3,5
Media	6	(4,3)	16,1	13	(9,2)	3,1
Alta	11	(7,6)	16,5	23	(16,0)	3,4

Fuente: Hospital Vista Hermosa, Secretaría Distrital de Salud.

Los niveles de Hg superiores a los valores de referencia y las zonas de exposición ambiental no arrojaron ninguna asociación estadísticamente significativa (tabla 8).

Tabla 8. Razón de prevalencia niveles altos de mercurio por marcador biológico y zona de exposición

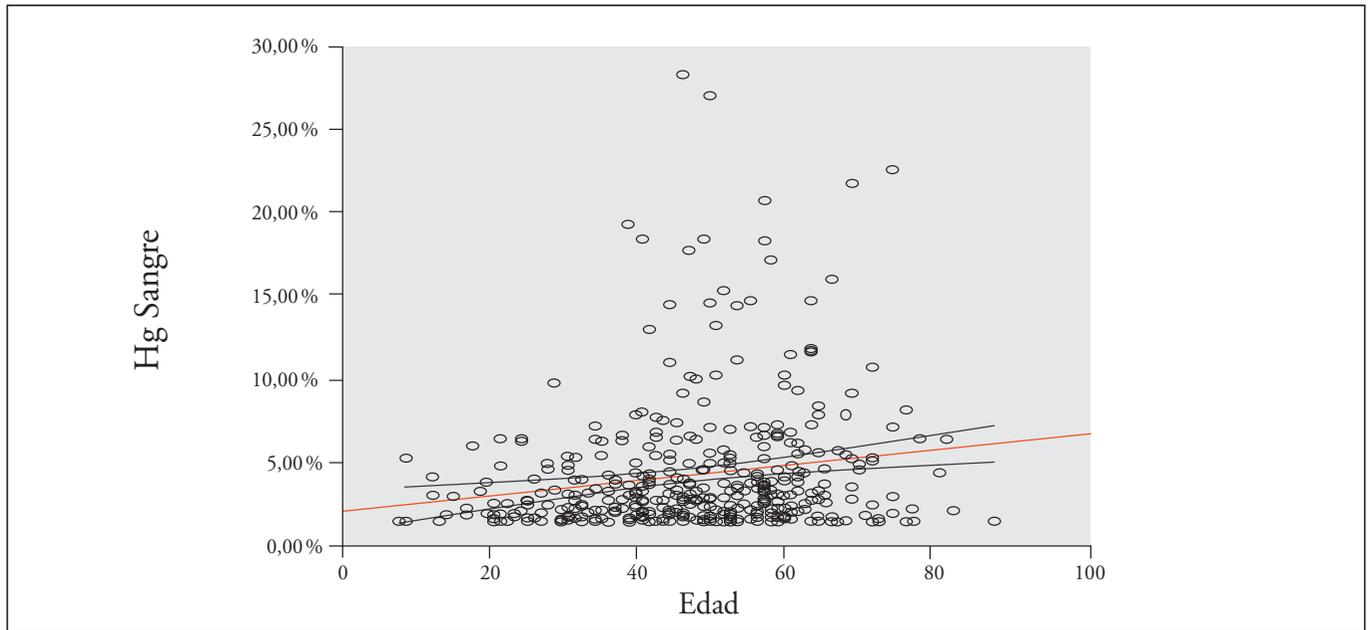
Biomarcador	Zona de exposición	RP	IC (95 %)	
Hg en sangre	Baja	1,000	-	-
	Media	0,548	0,201	1,495 (Katz)
	Alta	0,984	0,422	2,295 (Katz)
Hg en cabello	Baja	1,000	-	-
	Media	0,891	0,423	1,877 (Katz)
	Alta	1,544	0,803	2,968 (Katz)

Razón de prevalencia (RP), Intervalo de confianza (IC)
 Fuente: Hospital Vista Hermosa, Secretaría Distrital de Salud.

Se presentó correlación positiva entre la edad y las concentraciones de Hg en sangre ($r = 0,176$) y en cabello ($r = 0,172$). Es decir, a mayor edad, mayores concentraciones de Hg en sangre y cabello $p < 0,05$ (tabla 9 y figuras 2 y 3).

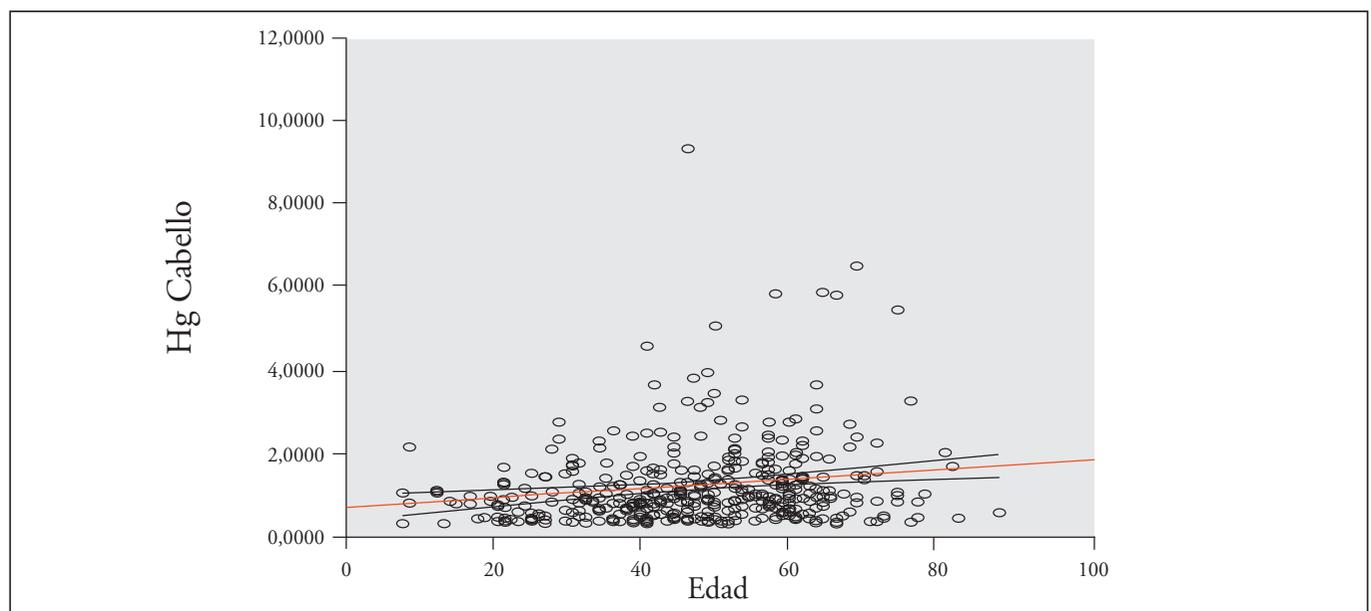
Respecto a las variables de exposición específicas evaluadas para Hg, como la presencia de amalgamas dentales de Hg y la ocupación, no se encontraron diferencias significativas con ninguno de los tres marcadores biológicos.

Figura 2. Correlación entre edad y concentraciones de mercurio en sangre



Fuente: Hospital Vista Hermosa, Secretaría Distrital de Salud.

Figura 3. Correlación entre edad y concentraciones de mercurio en cabello



Fuente: Hospital Vista Hermosa, Secretaría Distrital de Salud.

Tabla 9. Edad y aumento en las concentraciones de Hg en marcadores biológicos

		Hg orina [µg/L]	Hg sangre [µg/L]	Hg cabello [µg/g]
Edad	Correlación de Pearson	-0,017	,176*	,172*
	Sig (unilateral)	0,365	0,000	0,000
	N	401	401	401

*La correlación es significativa al nivel 0,01 (unilateral).

Fuente: Hospital Vista Hermosa, Secretaría Distrital de Salud.

Discusión

Al no encontrarse asociación positiva estadísticamente significativa entre la prevalencia de Hg y las zonas de exposición ambiental, se puede concluir que la problemática de exposición a mercurio se presenta en toda la ciudad y no afecta a una zona en particular. Sin embargo, no se puede ignorar que estudios han encontrado concentraciones de Hg más altas en áreas urbanas en las que hay mayor actividad industrial y flujo vehicular (17). Para conocer la situación real de la contaminación por Hg en la ciudad se requiere construir un mapa de exposición a Hg, a partir de mediciones de concentración directas de Hg en aire.

Una de las hipótesis planteadas respecto a los resultados es que posiblemente la contaminación por Hg esté asociada con variables no ambientales, no incluidas en el estudio, como el consumo de productos derivados de la pesca. Al respecto, estudios recientes han encontrado concentraciones más elevadas de Hg en cabello, en poblaciones con mayor consumo de pescado, razón por la cual actualmente se considera una de las principales rutas de exposición a metilmercurio para los humanos (15,26). Es probable que en Bogotá se estén comercializando productos de la pesca provenientes de otras zonas del país, en las que las fuentes de agua están contaminadas con Hg (27,28). La facilidad de dicho metal para transportarse de un lugar a otro puede estar contaminando fuentes de agua en zonas alejadas al lugar de liberación inicial.

La calidad de la información también pudo haber influido en los resultados del estudio, debido a que una de las limitantes fue la disponibilidad de información; las bases de datos utilizadas para la determinación de las zonas de exposición no registran la totalidad de establecimientos existentes en Bogotá.

El estudio hizo visible la necesidad de mejorar la consolidación de la información relacionada con los establecimientos que manipulan Hg y sus compuestos; así mismo, se debe continuar con las investigaciones enfocadas en el diagnóstico de la problemática de la contaminación por Hg en Bogotá. Se debe motivar la construcción de inventarios de fuentes de emisiones y la implementación de métodos para la cuantificación de Hg en aire, con el objetivo de construir los mapas de emisión y de contaminación por Hg para la ciudad. Adicionalmente, es importante determinar las concentraciones de Hg en los productos de la pesca comercializados en la ciudad, e indagar acerca de la posible relación entre consumo y concentraciones de Hg en la población que presenta mayor frecuencia en el consumo de dichos alimentos.

El aumento de los niveles de Hg en sangre y cabello respecto al aumento de la edad puede explicarse por el proceso conocido como bioacumulación. Teniendo en cuenta que aunque el cuerpo humano está diseñado para eliminar de manera natural contaminantes como el Hg, dicha eliminación es muy lenta y con el paso de los años el cuerpo se satura, hasta llegar a superar la capacidad del organismo para eliminar los contaminantes de manera natural (29).

Referencias

1. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Estudio sobre los posibles efectos en la salud humana y el medio ambiente en América Latina y el Caribe del comercio de productos que contienen cadmio, plomo y mercurio [internet]. 2010 [citado 2014 abr. 22]. Disponible en: [http://www.chem.unep.ch/Pb_and_Cd/Documents/LAC_study/EstudioEspa%C3%B1ol con Resumen Ejecutivo.pdf](http://www.chem.unep.ch/Pb_and_Cd/Documents/LAC_study/EstudioEspa%C3%B1ol%20con%20Resumen%20Ejecutivo.pdf)
2. Wang D, He L, Wei S, Feng X. Estimation of mercury emission from different sources to atmosphere in Chongqing, China. *Sci Total Environ.* 2006;366:722-8.
3. Xiu GL, Jin Q, Zhang D, Shi S, Huang X, Zhang W, et al. Characterization of size-fractionated particulate mercury in Shanghai ambient air. *Atmos Environ.* 2005;39:419-27.
4. Li P, Feng XB, Qiu GL, Shang LH, Li ZG. Mercury pollution in Asia: a review of the contaminated sites. *J Hazard Mater.* 2009;168:591-601.

5. Zmozinski AV, Carneado S, Ibáñez-Palomino C, Sahuquillo À, López-Sánchez JF, da Silva MM. Method development for the simultaneous determination of methylmercury and inorganic mercury in seafood. *Food Control*. 2014;46:351-9.
6. Ruiz-de-Cenzano M, Rochina-Marco A, Cervera ML, de la Guardia M. Speciation of methylmercury in market seafood by thermal degradation, amalgamation and atomic absorption spectroscopy. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2014;107:90-6.
7. Bose-O'Reilly S, McCarty KM, Steckling N, Lettmeler B. Mercury exposure and children's health. *Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care*. 2010;40(8):186-215.
8. United Nations Environment programme (UNEP), Artic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). Technical background report for the global mercury assessment. 2013 [citado 2014 abr. 8]. Disponible en: <http://www.amap.no/documents/doc/technical-background-report-for-the-global-mercury-assessment-2013/848>.
9. United Nations Environment Programme (UNEP). Global mercury assessment [internet]. Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport. 2013 [citado 2014 jun. 19]. Disponible en: <http://www.unep.org/PDF/PressReleases/GlobalMercuryAssessment2013.pdf>
10. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio. Ginebra, Suiza [internet]. 2005 [citado 2014 jul. 2]. Disponible en <http://www.chem.unep.ch/mercury/Toolkit/UNEP-final-pilot-draft-toolkit-SPANISH.pdf>
11. Secretaría de Calidad Ambiental. Inventario nacional de emisiones de mercurio y productos que contienen mercurio. Quito-Ecuador [internet]. 2008 [citado 2014 jul. 2]. Disponible en: http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Mercury/A_Inventories/ECUADOR%20Hg%20Inventory%20FINAL%20report%20SPANISH%20Aug%202008.pdf
12. Autoridad Nacional del Ambiente. Inventario nacional de emisiones de mercurio en Panamá [internet]. 2008 [citado 2014 jul. 2]. Disponible en: www.unep.org/chemicalsandwaste/Portals/9/Mercury/A_Inventories/PANAMA%20Hg%20Inventory%20FINAL_SPANISH%20Dec%202008.pdf
13. Zhang L, Wong MH. Environmental mercury contamination in China: sources and impacts. *Environ Int*. 2007;33:108-121.
14. Pacyna EG, Pacyna JM, Pirrone N. European emissions of atmospheric mercury from anthropogenic sources in 1995. *Atmos Environ*. 2001;35(17):2987-96.
15. World Health Organization (WHO) y United Nations Environment Programme (UNEP). Guidance for identifying populations at risk from mercury exposure [internet]. 2008 [citado 2013 mar. 6]. Disponible en: <http://www.who.int/foodsafety/publications/chem/mercuryexposure.pdf>
16. Environmental Protection Agency, Office of Health and Environmental Assessment. Mercury health effects updates: Health issue assessment. Final report. Washington; 1984.
17. Sekhavatjou MS, Alhashem AH, Sadat S. Seasonal variation of mercury vapor concentrations in industrial, residential, and traffic areas of Ahvaz city, Southwest Iran. *African J Biotechnol*. 2011;10(57):12232-6. Disponible en: <http://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/96297/85649>
18. Redacción con Agencias. Colombia es el país con más contaminación por mercurio en América. [internet]. ADN. 2013 [citado 2014 jul 21]. Disponible en: <http://diarioadn.co/vida/medio-ambiente/colombia-es-el-pa%C3%ADs-con-m%C3%A1s-contaminaci%C3%B3n-por-mercurio-en-am%C3%A9rica-1.42488>
19. Telmer KH, Veiga MM. World emissions of mercury from artisanal and small scale gold mining. En: *Mercury fate and transport in the global atmosphere emissions, measurements and models*. New York: Springer London; 2009. p. 131-172.
20. Fundación para la Educación y el Desarrollo Social. Evidencia científica, normativa y técnica sobre la problemática del mercurio en Colombia. Bogotá [internet]. 2012 [citado 2014 abr. 13]. Disponible en: <http://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/>

- BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/evidencia%20cientifica%20mercurio0512%20.pdf
21. Mesquidaz ED, Marrugo J, Pinedo J. Exposición a mercurio en trabajadores de una mina de oro en el norte de Colombia. *Salud Uninorte*. 2013;29(3):534-41.
 22. 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 Saude Pública*. 1995;29(5):376-9.
 23. Cote M, Prieto E, Gutiérrez M, Sandoval Y. Alteraciones neurocomportamentales en personas Expuestas a mercurio en la actividad minera del oro en el municipio de Segovia (Antioquia) 2005. Bogotá DC: [UPME] Unidad de Planeación Minero Energética [internet]. 2006. [citado 2014 jun. 19]. Disponible en: <http://www.upme.gov.co/Docs/Mineria/1887.pdf>
 24. Idrovo AJ, Manotas LE, Villamil de García G, Romero SA, Ortíz J, Azcárate CE, et al. Niveles de mercurio y percepción del riesgo entre una población minera aurífera del Guainía, Orinoquía colombiana. *Biomédica*. 2001;21:134-41.
 25. Osorio S, Hernández L, Sarmiento R, González Y, Pérez D, Barbosa M, et al. Prevalencia de mercurio y plomo en población general de Bogotá, zonas de exposición ambiental y efectos en salud. *Revista Salud Pública*. 2014;16(4):621-8.
 26. Gracia L, Marrugo J, Alvis E. Contaminación por mercurio en humanos y peces en el municipio de Ayapel, Córdoba, Colombia, 2009. *Rev Fac Nac salud Pública*. 2010;28:118-24.
 27. Sánchez JM. Evaluación de la concentración de mercurio en diversas marcas de atún enlatado comercializadas en la ciudad de Cartagena de Indias. [Tesis] Cartagena. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Medicina Departamento de Toxicología Convenio Universidad de Cartagena de Indias [internet]. 2011. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6681/1/598924.2011.pdf>
 28. Marrugo J, Lans E, Benítez L. Hallazgo de mercurio en peces de la ciénaga de Ayapel, Córdoba, Colombia. *Rev MVZ Córdoba*. [Internet]. 2014;12:878-86.
 29. Oliver J, Restrepo B. El lado gris de la minería de oro: la contaminación de mercurio en el norte de Colombia. [citado 2012 jun. 12]. Disponible en: http://www.reactivos.com/images/LIBRO_MERCURIO_-_Olivero-Johnson-Colombia.pdf

Recibido para evaluación: 31 de julio de 2014

Aceptado para publicación: 17 de febrero de 2016

Correspondencia

*María Zaidee Barbosa Devia
Hospital de Vista Hermosa Bogotá, D. C.
bzaidee@gmail.com*