

## Evaluación de condiciones ambientales: aire, agua y suelos en áreas de actividad minera en Boyacá, Colombia

### Evaluation of environmental conditions: air, water and soil in areas of mining activity in Boyacá, Colombia

Carlos A. Agudelo-Calderón<sup>1</sup>, Leonardo Quiroz-Arcentales<sup>2</sup>,  
Juan C. García-Ubaque<sup>1</sup>, Rocío Robledo-Martínez<sup>1</sup> y Cesar A. García-Ubaque<sup>3</sup>

1 Instituto de Salud Pública. Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.  
caagudoloc@unal.edu.co; jcgarciau@unal.edu.co; rrobledom@unal.edu.co

2 Consultor. Ministerio de Salud y Protección Social. leoquiroz45@hotmail.com.

3 Facultad Tecnológica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.  
cagarciau@udistrital.edu.co.

Recibido 2 Agosto 2014/Enviado para Modificación 18 Mayo 2015/Aceptado 6 Octubre 2015

#### RESUMEN

**Objetivos** Determinar concentraciones de PM<sub>10</sub>, mercurio y plomo en aire intramural de viviendas, en fuentes de agua y suelo de municipios aledaños a actividad minera.

**Método** Se evaluaron 6 puntos en áreas de influencia y 2 en áreas control. Para las mediciones de aire intramural, se utilizaron los métodos NIOSH 600 (PM<sub>10</sub>), NIOSH 6009 (mercurio) y NIOSH 7300 (plomo). Para análisis de aguas se utilizó la Guía de monitoreo de vertimientos del IDEAM y, para análisis de suelos se utilizó la técnica de vapor frío (mercurio) y absorción atómica (plomo).

**Resultados** En casi todas las viviendas seleccionadas, las concentraciones promedio de PM<sub>10</sub> y mercurio en aire intramural superaron las normas aplicables de seguridad del aire, mientras que las concentraciones de plomo estuvieron por debajo. En todos los cuerpos de agua se encontraron concentraciones elevadas de plomo y en algunos puntos en las zonas mineras se encontraron niveles altos de hierro, mercurio y aluminio. En el monitoreo de suelos, las concentraciones de mercurio están por debajo del nivel de detección y, para plomo se observaron diferencias entre los puntos monitoreados.

**Conclusiones** Se encontró concentración de varios contaminantes por encima de los valores aceptables. En las zonas evaluadas hay numerosas y diversas fuentes de contaminación de tal manera que no es posible individualizar las relaciones entre actividad minera y contaminación. Sin embargo, este tipo de estudios de corte aportan información puntual, útil para los agentes del sistema de salud ambiental e investigadores. Se sugiere instalar redes de monitoreo ambiental que permitan un seguimiento continuo.

**Palabras Clave:** Salud ambiental, material particulado, mercurio, plomo, minería (fuente: DeCS, BIREME).

## ABSTRACT

**Objectives** To determine concentrations of  $PM_{10}$ , mercury and lead in indoor air of homes, water sources and soil in municipalities near mining operations.

**Method** 6 points were evaluated in areas of influence and 2 in control areas. For measurements of indoor air, we used the NIOSH 600 method ( $PM_{10}$ ), NIOSH 6009 (mercury) and NIOSH 7300 (lead). For water analysis we used the IDEAM Guide for monitoring discharges. For soil analysis, we used the cold vapor technique (mercury) and atomic absorption (lead).

**Results** In almost all selected households, the average  $PM_{10}$  and mercury concentrations in indoor air exceeded applicable air quality standards. Concentrations of lead were below standard levels. In all water sources, high concentrations of lead were found and in some places within the mining areas, high levels of iron, aluminum and mercury were also found. In soil, mercury concentrations were below the detection level and for lead, differences between the monitored points were observed.

**Conclusions** The results do not establish causal relationships between mining and concentration of these pollutants in the evaluated areas because of the multiplicity of sources in the area. However, such studies provide important information, useful to agents of the environmental health system and researchers. Installation of networks for environmental monitoring to obtain continuous reports is suggested.

**Key Words:** Environmental health, particulate matter, mercury, lead, mining (source: *MeSH, NLM*).

En la minería y en las demás actividades económicas conexas, se identifican dos grupos de población que pueden tener exposición a los contaminantes que se generan. De una parte, los trabajadores que participan en los procesos productivos expuestos a gases, vapores, material particulado, etc. y a condiciones de riesgo de accidentes de trabajo (1). El otro grupo es la población general residente en zonas aledañas a los sitios de la explotación y/o transformación de los minerales. La exposición de la población general ocurre en los ámbitos de: vivienda, escuela y espacios comunitarios (vías públicas, parques, etc.) y es determinada tanto por procesos ambientales y sociales locales (precipitación, acceso a servicios públicos, hábitos de vida, tabaquismo, etc.), como globales (cambio climático).

Numerosos estudios han provisto evidencia de la contaminación que la actividad minera de carbón y hierro produce en el territorio cercano. Por ejemplo, en las reservas de carbón de la cuenca del Illinois se encontró un contenido de Azufre (S) del 0,5 al 7,0 % y un contenido de Pirita ( $FeS_2$ ) del 5,0 %. Minerales que al ser removidos, entran en contacto con el  $O_2$  y se oxidan; luego, al llegar a las fuentes de agua por sistemas de drenaje de las minas, producen acidez. Las descargas de iones ferrosos y férricos, lo mismo que de sulfatos y metales, tie-

nen potencial tóxico para especies animales y vegetales (2). En la antigua zona minera de La Unión, ubicada al sur oriente de España, se identificó la presencia de metales como cromo, cadmio y plomo en suelos de áreas explotadas, lo que se considera un obstáculo para el crecimiento de vegetación que prevendría la erosión e impediría la diseminación de las sustancias tóxicas por el viento (3).

En las montañas Sudety y Tatra en Polonia se midió la concentración de metales en helechos de la especie *A. Distentifolium*, que se han propuesto como indicadores de la presencia de estos contaminantes en el suelo y el aire, dado que su resistencia a los mismos les facilita prosperar. Los análisis confirmaron la presencia de Cromo y Cadmio, sustancias definidas como tóxicas para los humanos (4). Otro tóxico que puede estar presente en el carbón en concentraciones mínimas, es el mercurio, lo cual se evidencia en el hecho de que el 45,0 % de las emisiones de mercurio de origen antrópico se originan en la combustión del carbón en procesos de generación de electricidad en plantas termoeléctricas (5).

Adicionalmente se ha encontrado contaminación de aire, tanto de material particulado (PM por sus siglas en inglés) como de otros gases, a través de reportes de redes de monitoreo de calidad de aire. En Itabira, Brasil, se encontró una media de la concentración de PM menor de 10 micras ( $PM_{10}$ ) de  $38,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  durante un periodo de 18 meses, con un valor mínimo de  $6,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , un máximo de  $160,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y una mediana de  $32,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (6). El límite recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) es de  $20,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para el promedio anual y  $50,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  como promedio de concentración diaria (7).

Hallazgos similares se han encontrado en comunidades inglesas ubicadas en cercanía de minas activas. Los patrones de variación diaria de la concentración de  $PM_{10}$  fueron similares en comunidades cercanas y lejanas, pero el promedio geométrico de la concentración fue mayor en las comunidades expuestas ( $17,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) que en las alejadas ( $14,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) con una razón de promedios de 1,14 (IC95 % 1,13-1,16) (8). Otros estudios han monitoreado la concentración de contaminantes gaseosos como el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), Ozono ( $\text{O}_3$ ) y metales pesados como el Cromo, Cadmio y Plomo en zonas mineras como Bitterfeld y Hettstedt en Alemania (9-10).

El presente estudio se centra en medir la exposición a material particulado respirable ( $PM_{10}$ ), mercurio y plomo de la población residente en algunos municipios con influencia de minería de carbón y hierro en el Departamento de Boyacá (Colombia).

## METODOLOGÍA

Se midió la concentración de  $PM_{10}$ , mercurio y plomo en aire intramural de la zona, mediante 8 estaciones de monitoreo. Seis de ellas en municipios en los que se dan múltiples tipos, informales, formales y empresariales, de actividad minera (Paz de Río, Samacá, Socotá, Tasco, Socha y Sativa Sur) y las dos restantes en municipios control (Ramiriquí y Tenza), fuera de la zona de influencia. Se realizaron mediciones ambientales en 2 periodos. Se midió la concentración de  $PM_{10}$ , aplicando la metodología recomendada por la National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Método NIOSH 600. Para mercurio se utilizó el Método NIOSH 6009 y para plomo, el Método NIOSH 7300.

Para el muestreo en agua se seleccionaron cuerpos de agua en los municipios de Paz de Río, Samacá, Ramiriquí y Socha. Se realizaron dos muestreos compuestos durante 8 horas en cada uno de los cuerpos de agua, en dos periodos diferentes (seco y lluvioso). Se recolectaron las muestras para su posterior análisis, siguiendo la Guía para monitoreo de vertimiento de aguas superficiales y subterráneas del IDEAM (11). Se hizo análisis fisicoquímico y determinación de mercurio (Hg) y plomo (Pb) con el fin de evaluar la calidad del agua superficial, de acuerdo con las metodologías acreditadas bajo la norma NTC-ISO/IEC 17025: 2005. Los resultados se compararon con la Resolución 2115 de 2007 (12).

El muestreo de suelo se llevó a cabo en los municipios de Paz de Río, Socotá, Socha, Tasco, Samacá, Ramiriquí y Tenza. Se realizó una perforación en cuadro de 0,3 x 0,3 x 0,3 m y se tomó una muestra de 1 kg. Para el análisis de mercurio en las muestras de suelo se usó un Analizador de mercurio MAS 50 D. La técnica utilizada fue generación de mercurio por vapor frío. El equipo usado para la determinación de plomo fue un Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer 2380.

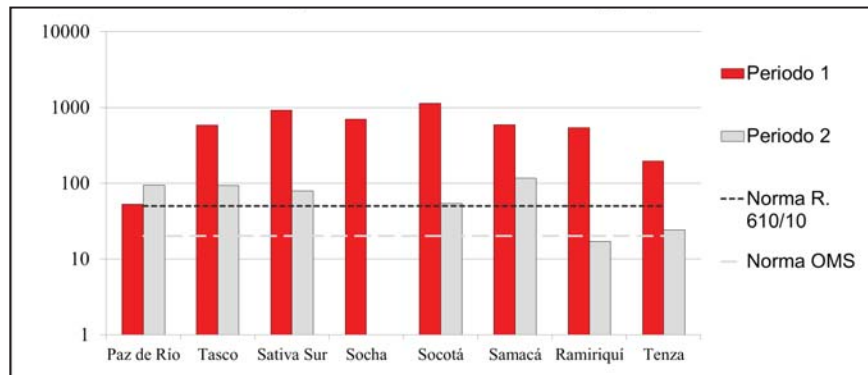
## RESULTADOS

### Calidad del aire

En la Figura 1, se presentan los resultados de  $PM_{10}$  en el aire intramural de los municipios de estudio. Se reporta una diferencia importante entre los promedios de concentración para los periodos 1 y 2 en casi todos los municipios, con excepción de Paz de Río, cuyos valores presentan una diferencia mucho menor. Además, se observa que los promedios de concentración

del primer periodo son apreciablemente mayores con respecto al segundo periodo, para los mismos municipios, con excepción también de Paz de Río. No se aprecian diferencias entre los registros obtenidos en los municipios de influencia minera y los municipios de control para este parámetro.

**Figura 1.** Concentración promedio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) intramural de partículas respirables en suspensión, en los municipios estudiados



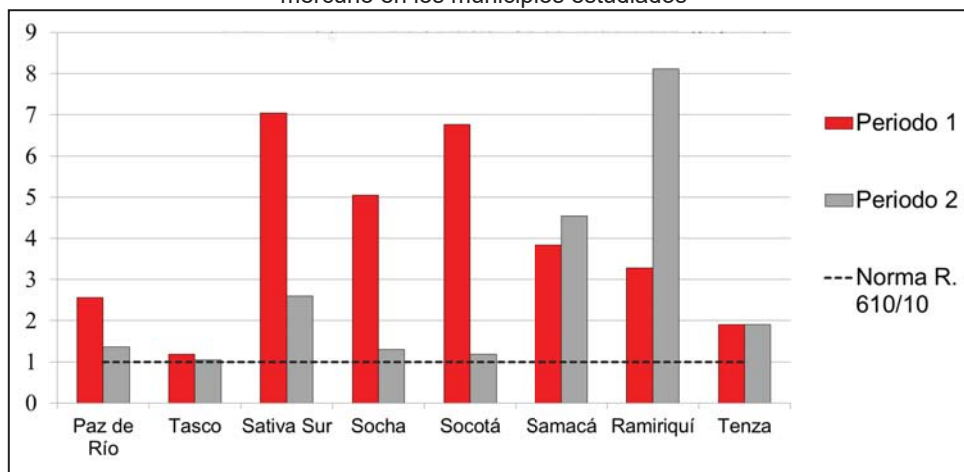
En la Figura 2 se presentan los resultados de mercurio en aire intramural de los municipios. Se observa una diferencia apreciable entre los promedios de concentración de mercurio entre los periodos 1 y 2 en la mayoría de los municipios, con excepción de Tasco, Tenza y Samacá, cuyos valores promedio son similares. Se aprecia también que para los municipios de Paz de Río, Sativa Sur, Socha, y Socotá, los promedios de concentración de mercurio del primer periodo son apreciablemente mayores con respecto al segundo periodo, mientras que para Ramiriquí el comportamiento es inverso. Y para los dos periodos de medición, en casi todos los sitios seleccionados, con excepción de Tasco, las concentraciones promedio de mercurio superaron ampliamente la norma de calidad del aire (13). Para este parámetro se aprecian diferencias entre los valores reportados en los municipios de influencia minera y los municipios de control.

#### Cuerpos de agua

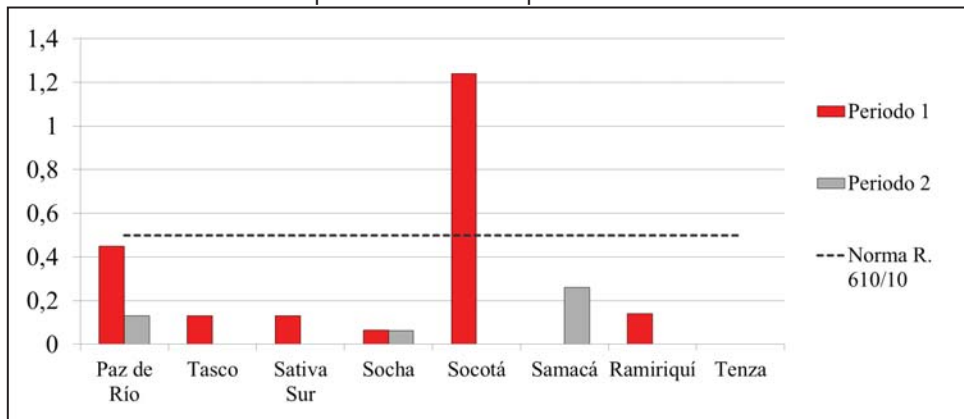
Las concentraciones de metales en las muestras de agua se compararon con los límites determinados en la resolución 2115 de 2007 (12), como se indica en las Tablas 1 a 4. En todos los cuerpos de agua se encontraron concentraciones elevadas de plomo, incluyendo el municipio fuera de la zona de influencia de la actividad minera.

Por otra parte, en los tres municipios mineros se encontraron niveles elevados de hierro en el agua de las fuentes analizadas. En el agua del río Sopaga del municipio de Paz de Río se encontraron niveles elevados de mercurio. En la quebrada el Tirque del municipio de Socha y en el agua del río Sopaga se encontraron niveles elevados de aluminio.

**Figura 2.** Concentración intramural promedio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de mercurio en los municipios estudiados



**Figura 3.** Concentración intramural promedio ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de plomo en los municipios estudiados



**Tabla 1.** Resultados de indicadores de calidad de agua de la quebrada el Tirque en el municipio de Socha, Boyacá

Variable	Periodo análisis	Resultado	Incertidumbre	Concepto	Resolución 2115 de 2007
Aluminio total [mg Al/L]	1	0,23	0,01	No cumple	0,2
	2	0,15	0	Cumple	
Color aparente a pH 6,19, Pt-Co	1	40	NA	No cumple	15
	2	50	NA	No cumple	
Hierro total, [mg Fe/L]	1	0,6	0,03	No cumple	0,3
	2	1,5	0,01	No cumple	
Magnesio total, [mg Mg/L]	1	1,26	NA	Cumple	36
	2	1,25	NA	Cumple	
Manganeso total, [mg Mn/L]	1	0,015	0,00	Cumple	0,1
	2	0,034	NA	Cumple	
Mercurio total, [mg Hg/L]	1	0,0009	0,00	Cumple	0,001
	2	0,0007	NA	Cumple	
Molibdeno total, [mg Mo/L]	1	<0,0228	0,0003	Cumple	0,07
	2	<0,0228	0,00	Cumple	
Plomo total, [mg Pb/L]	1	0,013	0,0003	No cumple	0,01
	2	0,013	0,00	No cumple	
Turbiedad a 19 °C, NTU	1	19,8	NA	No cumple	2
	2	43,4	NA	No cumple	

**Tabla 2.** Resultados de indicadores de calidad de agua el río Sopaga en el municipio de Paz de Río, Boyacá

Variable	Periodo análisis	Resultado	Incertidumbre	Concepto	Resolución 2115 de 2007
Aluminio total [mg Al/L]	1	0,22	0,01	No cumple	0,2
	2	1,55	0,03	No cumple	
Color aparente a pH 6,19, Pt-Co	1	70	NA	No cumple	15
	2	75	NA	No cumple	
Hierro total, [mg Fe/L]	1	1,3	0,09	No cumple	0,3
	2	4	0,03	No cumple	
Magnesio total, [mg Mg/L]	1	2,02	NA	Cumple	36
	2	1,9	NA	Cumple	
Manganeso total, [mg Mn/L]	1	0,12	0,02	No cumple	0,1
	2	0,142	NA	No cumple	
Mercurio total, [mg Hg/L]	1	0,0013	0	No cumple	0,001
	2	<0,0007	NA	Cumple	
Molibdeno total, [mg Mo/L]	1	<0,0228	0,0003	Cumple	0,07
	2	<0,0228	0,00	Cumple	
Plomo total, [mg Pb/L]	1	0,013	0,0003	No cumple	0,01
	2	<0,010	0	Cumple	
Turbiedad a 19 °C, NTU	1	26	NA	No cumple	2
	2	81,2	NA	No cumple	

**Tabla 3.** Resultados de indicadores de calidad de agua el río Gachaneca en el municipio de Samacá, Boyacá

Variable	Periodo análisis	Resultado	Incertidumbre	Concepto	Resolución 2115 de 2007
Aluminio total [mg Al/L]	1	0,19	0,01	Cumple	0,2
	2	0,06	0,00	Cumple	
Color aparente a pH 6,19, Pt-Co	1	67,5	NA	No cumple	15
	2	32,5	NA	No cumple	
Hierro total, [mg Fe/L]	1	0,86	0,02	No cumple	0,3
	2	0,81	0,02	No cumple	
Magnesio total, [mg Mg/L]	1	0,309	NA	Cumple	36
	2	1,35	NA	Cumple	
Manganeso total, [mg Mn/L]	1	0,017	0,002	Cumple	0,1
	2	0,09	0,01	Cumple	
Mercurio total, [mg Hg/L]	1	<0,0007	0,00	Cumple	0,001
	2	<0,0007	NA	Cumple	
Molibdeno total, [mg Mo/L]	1	<0,0228	0,002	Cumple	0,07
	2	<0,0228	0	Cumple	
Plomo total, [mg Pb/L]	1	0,013	0,0005	No cumple	0,01
	2	0,021	0,00	No cumple	
Turbiedad a 19 °C, NTU	1	17,2	NA	No cumple	2
	2	2,82	NA	No cumple	

**Tabla 4.** Resultados de indicadores de calidad de agua para la quebrada el Salvio en el municipio de Ramiriquí, Boyacá

Variable	Periodo análisis	Resultado	Incertidumbre	Concepto	Resolución 2115 de 2007
Aluminio total [mg Al/L]	1	0,05	0,00	Cumple	0,2
	2	0,06	0,00	Cumple	
Color aparente a pH 6,19, Pt-Co	1	2,5	NA	Cumple	15
	2	1,25	NA	Cumple	
Hierro total, [mg Fe/L]	1	0,04	0	Cumple	0,3
	2	0,08	0	Cumple	
Magnesio total, [mg Mg/L]	1	0,33	NA	Cumple	36
	2	0,45	NA	Cumple	
Manganeso total, [mg Mn/L]	1	0,011	0	Cumple	0,1
	2	0,012	NA	Cumple	
Mercurio total, [mg Hg/L]	1	0,0001	0	Cumple	0,001
	2	<0,0007	NA	Cumple	
Molibdeno total, [mg Mo/L]	1	<0,023	0	Cumple	0,07
	2	<0,023	NA	Cumple	
Plomo total, [mg Pb/L]	1	0,017	0,0006	No cumple	0,01
	2	0,017	0,00	No cumple	
Turbiedad a 19 °C, NTU	1	0,89	NA	Cumple	2
	2	1,36	NA	Cumple	



### Monitoreo en suelo

En la Tabla 5 se presentan los resultados de mercurio y plomo en suelo, según el análisis de las muestras seleccionadas. También se llevó a cabo el análisis de una solución blanco, para verificar el 0 en la calibración de los equipos.

Los resultados de mercurio en suelo, registran valores por debajo del nivel mínimo detectable por el equipo de análisis para todas las muestras, y no se pueden establecer diferencias entre los puntos seleccionados. Por otra parte, en los resultados de contenido de plomo se observaron diferencias entre los puntos de monitoreo en los municipios de influencia minera y los municipios de control.

**Tabla 5.** Resultados de mediciones de mercurio y plomo en el suelo, dentro de la zona de influencia de la actividad minero industrial en Boyacá

Municipio	Muestra	Coordenadas de punto de muestreo	C <sub>Hg</sub> en solución de análisis (µg/mL)	C <sub>Pb</sub> en solución de análisis (µg/mL)	C <sub>Hg</sub> en suelo (µg/g)	C <sub>Pb</sub> en suelo (µg/g)
Blanco absoluto (solución)	-	No aplica	<0,05	<0,05	-	-
Socotá	1	N:06°03'42,8" W:072°38'52,4"	<0,05	0,255	0,03	0,4091
	2	N:06°03'46,0" W:072°38'55,1"	<0,05	0,129	0,03	0,1573
	3	N:04°37'12,8" W:074°09'21,4"	<0,05	0,066	0,03	0,0314
Socha	1	N:05°59'4,6" W:072°42'38,7"	<0,05	0,192	0,03	0,2832
	2	N:05°59'4,6" W:072°42'34,5"	<0,05	0,192	0,03	0,2832
	3	N:05°59'4,6" W:072°42'35,6"	<0,05	0,192	0,03	0,2832
Paz de Río	1	N:05°59'16,5" W:072°45'06,8"	<0,05	0,129	0,03	0,1573
	2	N:05°59'07,9" W:072°44'49,6"	<0,05	2,081	0,03	4,0616
	3	N:05°59'06,4" W:072°45'09,7"	<0,05	0,192	0,03	0,2832
	4	N:05°59'14,6" W:072°44'49,6"	<0,05	0,192	0,03	0,2833

Municipio	Muestra	Coordenadas de punto de muestreo	C <sub>Hg</sub> en solución de análisis (µg/mL)	C <sub>Pb</sub> en solución de análisis (µg/mL)	C <sub>Hg</sub> en suelo (µg/g)	C <sub>Pb</sub> en suelo (µg/g)
Tasco	1	N:05°54'46,8" W:072°46'41,8"	<0,05	<0,50	0,03	0
	2	N:05°54'46,8" W:072°46'41,8"	<0,05	0,255	0,03	0,4092
	3	N:05°54'46,8" W:072°46'41,8"	<0,05	0,318	0,03	0,5351
Samacá	1	N:05°28'09,5" W:073°31'44,2"	<0,05	0,569	0,03	1,0387
	2	N:05°28'14,6" W:073°31'51"	<0,05	0,066	0,03	0,0314
	3	N:05°28'41" W:073°31'19,1"	<0,05	0,129	0,03	0,1573
Ramiriquí	1	N:05°24'37,5" W:073°19'55,6"	<0,05	0,255	0,03	0,4092
	2	N:05°23'48,8" W:073°20'12,8"	<0,05	0,129	0,03	0,1573
	3	N:05°24'37,5" W:073°19'43,8"	<0,05	0,066	0,03	0,0314
Tenza	1	N:05°03'46,4" W:073°25'11,6"	<0,05	0,255	0,03	0,4092
	2	N:05°03'44,8" W:073°25'11,6"	<0,05	0,381	0,03	0,661
	3	N:05°03'49,2" W:073°25'17,3"	<0,05	0,381	0,03	0,661

## DISCUSIÓN

Es claro que se presenta un nivel de contaminación por encima de los límites aceptables en el aire intramural de las viviendas, principalmente para de PM<sub>10</sub> y mercurio. Esta situación puede ser atribuible a la actividad minera que se desarrolla en la zona de estudio desde hace varias décadas. Sin embargo, no es posible individualizar relaciones de causalidad entre los niveles de contaminación y la actividad minera, debido a que esta se presenta de manera difundida y diversa (informal, formal y empresarial) en los municipios evaluados.

Con respecto a las concentraciones de plomo, los valores encontrados en aire intramural no superan los límites permisibles; sin embargo en los cuerpos de agua se encontraron registros por encima de los valores máximos permitidos. Por otra parte, el hallazgo de que no hay diferencias entre

los municipios de los grupos de estudio y control, en los casos del PM<sub>10</sub> y el plomo (ambos en el aire intramural) y, los metales en el agua, sugiere que la contaminación por estos elementos en los municipios control, proviene de fuentes diferentes a la actividad minera.

Finalmente, este tipo de estudio de corte es valioso, ya que aporta información puntual, útil para los agentes del sistema de salud ambiental e investigadores; sin embargo, es conveniente que desde las autoridades ambientales y de salud se coordine el montaje y operación de redes de monitoreo permanente que permitan el seguimiento continuo y evaluación de causalidades de la situación, que permitan la toma oportuna de decisiones en beneficio de la salud de la población general♦

#### REFERENCIAS

1. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Guía para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional. Bogotá: ICONTEC; 2012.
2. Burns A, Pugh C, Segid Y, Behum P, Lefticariu L, Bender K. Performance and microbial community dynamics of a sulfate-reducing bioreactor treating coal generated acid mine drainage. *Biodegradation*. 2012;23 (3):415-29.
3. Fernández D, Roldán A, Azcón R, Caravaca F, Baath E. Effects of water stress, organic amendment and mycorrhizal inoculation on soil microbial community structure and activity during the establishment of two heavy metal-tolerant native plant species. *Microb ecol*. 2012;63(4):794-803.
4. Samecka-Cymerman A, Kolon K, Mróz L, Kempers A. Bioindicative comparison of the fern *Athyrium distentifolium* for trace pollution in the Sudety an Tatra mountains of Poland. *Environ Monit Assess*. 2012; 184 (10):6357-65.
5. Maroto-Valer M. Mercury policy and regulations for coal-fired power plants *Environ Sci Pollut Res*. 2012; 19 (4):1084-96.
6. Ferreira A, Amador L, Procópio M, de André P, do Nascimento P. Association between air pollution and respiratory and cardiovascular diseases in Itabira, Minas Gerais State, Brazil. *Cad Saúde Pública*. 2007; 23 (4):5570-78.
7. Organización Mundial de la Salud. Guías de calidad del aire. Ginebra: OMS; 2005.
8. Pless-Mulloli T, Howel D, Prince H. Prevalence of asthma and other respiratory symptoms in children living near and away from opencast coal mining sites. *Int J Epidemiol*. 2001;30(3):556-63.
9. Heinrich J, Hoelscher B, Wjst M, Ritz B, Cyrus J, Wichmann H. Respiratory diseases and allergies in two polluted areas in East Germany. *Environ health persp*. 1999;107 (1):53-62.
10. Lovett G, Tear T, Evers D, Findlay S, Cosby B, Dunscomb J, et al. Effects of Air Pollution on Ecosystems and Biological Diversity in the Eastern United States. *Ann. N.Y. Acad. Sci*. 2009;1162:99-135.
11. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas. Bogotá: IDEAM; 2002.
12. Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de Protección Social MPS y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT; Jun. 22, 2007.
13. Resolución 610 de 2010 de Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial MAVDT; Mar. 24, 2010.