

EVALUACION DE LA CONTAMINACION POR ARSENICO Y MERCURIO, DERIVADA DE LA EXPLOTACION DE CARBON EN ALGUNAS ZONAS DEL MUNICIPIO GUACHETA CUNDINAMARCA

ASSESSMENT OF ARSENIC AND MERCURY POLLUTION DERIVED FROM THE COAL MINING IN SOME AREAS OF THE GUACHETA (CUNDINAMARCA) MUNICIPALITY

Camilo Mahecha M.¹, Sindy Chaparro D.², Martha Saray A.³, Kelly Reynoso N.⁴

¹Licenciado en Química. Magister en ciencias biológicas. Docente investigador. Facultad de ciencias. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Calle 222 No. 55-37, Bogotá, Colombia, e-mail: camahecha@udca.edu.co;

²Química. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Calle 222 No. 55-37, Bogotá, Colombia, e-mail: viole-tmoon_19@hotmail.com;

³Química. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Calle 222 No. 55-37, Bogotá, Colombia, e-mail: kata0517@hotmail.com;

⁴Química. Magister en toxicología. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Calle 222 No. 55-37, Bogotá, Colombia, e-mail: johanareynoso@hotmail.com;

RESUMEN

La minería del carbón en Colombia que se lleva a cabo en los departamentos carboníferos del interior del país es medianamente tecnificada o en algunos casos artesanal, lo que indica que el control ambiental es bajo (el primer caso) o inexistente (segundo caso), lo cual conlleva a que durante el proceso de extracción partículas como metales pesados y otros que se encuentran dentro de la matriz del carbón estén en interacción con el medio circundante o los mineros, llegando a generar problemas de contaminación y enfermedades. En la presente investigación se realizó un análisis de cuantificación de Arsénico y Mercurio, presentes en muestras de carbón, suelo, fuentes hídricas y tejido foliar, tomadas de zonas aledañas a minas carboníferas del municipio de Guachetá (Cundinamarca). El análisis de estos metales se realizó por medio de una digestión ácida, posteriormente se cuantificó mediante la técnica de espectrofotometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) adaptado con un sistema de generación de hidruros. Se determinó en carbón niveles de arsénico entre 2,90ppm y 0,19 ppm y mercurio 0,30ppm y 0,09 ppm; en suelos, arsénico entre 7,19ppm y 1,98 ppm y mercurio 0,16ppm y 0,02 ppm; en tejido foliar arsénico entre 0,12ppm y 0,10 ppm y mercurio 0,04ppm y 0,01 ppm; el nivel de ambos metales en las muestras de las fuentes hídricas fue indetectable.

Palabras clave: Contaminación ambiental, minería, carbón mineral.

SUMMARY

Coal mining in Colombia – the one done in the interior regions of the country – is executed with limited technical expertise, in some circumstances at levels of basic handcraft. In both cases low-to-inexistent environmental controls follow the extraction processes. As a consequence, particles that need to be restrained, like heavy metals and others found within the coal matrix, interact directly with the surroundings and miners. This lack of heavy-particles control has generated then several contamination and disease problems. The present research did a quantification analysis of Arsenic and Mercury metals in coal, soil, leaf tissue and water sources samples; taken on nearby places to coal mining zones in Guachetá, Cundinamarca. The methods used for metals analysis were acid digestion, following a quantification process through atomic emission spectrophotometry with inductively-coupled plasma (ICO-OES), adjusted with a hydride generation system technique.

The study found the following. On coal samples levels of arsenic between 0.19 ppm to 2.90 ppm, and mercury between 0.09 ppm to 0.30 ppm. On soil samples, levels of arsenic between 1.98 ppm to 7.19 ppm, and mercury between 0.02 ppm to 0.16 ppm. On leaf tissues, levels of arsenic between

0.12 ppm to 0.10 ppm, and mercury between 0.01 ppm to 0.04 ppm. On samples taken from water sources no concentration levels of both metals were detected.

Keywords: Environmental pollution, mining, coal.

INTRODUCCION

En Colombia, para realizar la explotación de un mineral solo es requerido tramitar los permisos ambientales frente a la utilización del recurso mineral, ante la corporación que esté a cargo de la zona de beneficio, sin la necesidad de solicitar una licencia ambiental y sin un adecuado control de la misma sobre el desarrollo de la actividad, dando lugar a la generación de procesos que conllevan a deforestación, generación de residuos sólidos peligrosos como metales pesados y sustancias tóxicas, que dan lugar a la contaminación de fuentes hídricas y suelos principalmente de zonas cercanas a la mina (González, 2013). Esta problemática afecta negativamente las actividades socioeconómicas, presentando un elevado riesgo de exposición por parte de la población y los mineros a la contaminación debido a la presencia de metales pesados y tóxicos. Aspectos que se reflejan en la calidad de vida de las poblaciones aledañas encontrando una exposición directa a los trabajadores de la mina por la explotación excesiva.

A pesar de los múltiples beneficios que genera la comercialización del carbón, su producción lleva a un gran desconcierto, debido a que en todas las etapas de la explotación carbonífera, la fundición y la quema de combustibles fósiles, se liberan algunas partículas conocidas como polvo las cuales pueden contener trazas de algunos metales pesados que ocasionan efectos tóxicos en los seres vivos y el ambiente. Su efecto contaminante puede ser muy grande dependiendo de las condiciones climáticas y la permeabilidad de los suelos afectados (Bedoya et al 2004).

En algunos informes del Banco de Datos del Sistema Único de Salud en Brasil (DATASUS), se ve reflejada la problemática que presenta la exposición a que se enfrentan las personas involucradas en la actividad minera o los residentes aledaños a la zona. "En la ciudad de Lauro Müller Brasil, ubicada en un lugar cuya principal actividad económica es la minería de carbón y la dirección del viento favorece a una exposición casi continua de polvo de carbón durante gran parte del año, el 30% de los procedimientos médicos son causados por enfermedades en las vías respiratorias, y el 4%, relacionado con diferentes tipos de cáncer. Cabe anotar que muchos metales contenidos en el carbón son contaminantes problemáticos para la salud y el medioambiente algunos de ellos reconocidos por causar cáncer, otros por afectar la reproducción y el desarrollo normal de los niños, y otros por generar daños en los sistemas nervioso e inmune" (Gómez, 2011).

El carbón es un producto mineral con una composición en metales esenciales, tóxicos y pesados que varía sus concentraciones dependiendo de la ubicación geográfica, la mina, y condiciones geográficas de la zona, estas concentraciones pueden variar y superar el límite de potencial tóxico permitido para la población (Gómez, 2011). Es por ello que surge el interés de analizar la presencia y contracción de contaminantes como Arsénico y Mercurio en diferentes muestras de carbón del municipio de Guachetá en Cundinamarca y de suelos, tejido foliar y fuentes hídricas cercanas a las minas objeto de análisis para verificar si el proceso de explotación y transporte tenía algún tipo de repercusión en los mismos.

Las reservas de carbón que posee Colombia son muy grandes en comparación con otros países del sector, y los beneficios económicos a que conlleva la explotación de las mismas se han convertido en un segmento muy importante en la economía, sin embargo es de vital importancia vigilar que la explotación de este recurso se haga de manera adecuada, es decir que el impacto sobre el medio ambiente y la población de la misma no tenga efectos a mediano o largo plazo para la población; parte de esa vigilancia debe verse reflejada en el control y análisis de tóxicos que pueden derivarse del proceso de explotación (IPME, 2005), como el caso del presente estudio que busca verificar, si debido a la explotación carbonífera en algunas minas de carbón en Guachetá el medio que los rodean han podido verse afectados por niveles altos de arsénico y mercurio y analizar si los niveles son lo suficientemente altos para ser un problema para la población (ATSDR, 2005).

MATERIALES Y METODOS

Muestreo y conservación de muestras de carbón, suelo, fuentes hídricas, y tejido foliar.

La toma de muestras se realizó en el municipio de Guachetá Cundinamarca, se tomaron muestras de carbón de diferentes minas medianamente tecnificadas y artesanales; el muestreo de carbón se realizó de acuerdo a la NTC 2713 (ICONTEC, 2005), las muestras del suelo fueron recolectadas como lo indica el manual de asistencia técnica N° 25 del Instituto Colombiano Agropecuario ICA, la toma de muestras de agua se realizó en la parte media de la montaña en una quebrada ubicada en una zona cercana a la mina donde existía probabilidad de contaminación, estas se almacenaron en recipientes de plástico y se les agregó ácido nítrico HNO₃ para una adecuada conservación. El muestreo de tejido foliar se realizó en arboles de eucalipto, presentes en los alrededores de las entradas de las minas de carbón, para el mismo les fue retirado las hojas que es el material de interés, estas se almacenaron en bolsas debidamente identificadas para iniciar el proceso de pre-tratamiento.

Secado y molienda:

Las muestras carbón fueron secadas a temperatura ambiente en un lugar sin flujo de aire para evitar la contaminación y posteriormente tamizadas a un tamaño de 2 mm y almacenadas en bolsas plásticas debidamente identificadas para iniciar la digestión. Para suelos se tomó como guía el protocolo de pre-tratamiento de muestras de Corpoica donde se especifica las condiciones de secado en un horno que no supere los 40°C, se esparcieron las muestras sobre un papel kraf limpio; para la molienda se tamizó a un tamaño de 2 mm y almaceno en cajas de cartón identificadas.

En las fuentes hídricas se conservaron las muestras con Ácido Nítrico (HNO_3) y posteriormente se refrigeraron para evitar crecimiento microbiológico. Las muestras de tejido foliar se secaron en horno a 70°C y luego fueron trituradas en un molino; el residuo se almaceno en bolsas plásticas debidamente identificadas.

Digestión ácida por sistema microondas ultrawave

El proceso de digestión ácida de las muestras para mineralización total del carbón, total del tejido foliar y pseudo-total de suelos se realizó en horno microondas de alta presión Ultrawave. Terminado el proceso de digestión se trasladaron las muestras a tubos falcón debidamente codificados, llevando a volumen final de 30 ml con agua desionizada; filtrando posteriormente las muestras a gravedad con papel filtro cualitativo.

Cuantificación de Arsénico y Mercurio

Se realizó el análisis de los elementos trazas arsénico (As) a una longitud de onda de 189.042 nm y mercurio (Hg) a una longitud de onda de 253.652 nm en espectrómetro de emisión con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) marca Thermo scientific serie 6000 utilizando sistema de generación de hidruros; utilizando software iTEVA. La curva de calibración para la determinación de As y Hg se realizó en partes por billón (ppb o $\mu\text{g/L}$) se preparó en ácido clorhídrico para asegurar la estabilidad de los elementos en la solución que provienen de un multi-elemento certificado y específico para ICP-OES. Los Análisis fueron efectuados por triplicado para cada muestra. La cuantificación de las muestras en el equipo se realizó siguiendo el instructivo de manejo del ICP-OES de Corpoica, finalizada la cuantificación se exportaron los datos y se realizó el tratamiento de los resultados para indicar su concentración en mg/kg.

RESULTADOS Y DISCUSION**Codificación de las muestras según matriz**

En la Tabla 1 se relacionan los códigos de las muestras, la identificación de las muestras se realizó teniendo en cuenta la matriz de análisis y las especificaciones correspondientes al lugar de muestreo.

Resultados de cuantificación de Arsénico (As) y Mercurio (Hg) por ICP- OES.

En las muestras de carbón, de acuerdo a los promedios obtenidos, se evidencia la presencia de Arsénico oscilando en un rango de 2,91 mg/Kg a 0,19 mg/Kg (tabla 2), observando valores más altos en los análisis de las muestras de carbón procedente de la mina artesanal que se caracteriza por producir carbón tipo bituminoso medio en volátiles y los valores más bajos de las muestras tomadas a minas que producen carbones bituminosos bajos en volátiles; de igual manera la presencia de Mercurio oscila en un rango de 0,30 mg/Kg a 0,09 mg/Kg (tabla 2), evidenciando un mayor valor en las muestras del carbón térmico genesiano y un menor valor en las muestras de la peña estéril; los valores obtenidos no son comparables con rangos específicos ya que cada muestra de carbón es diferente y sus concentraciones varían dependiendo de su roca madre.

En suelo se evidencio la presencia de Arsénico en un rango de 7,19 mg/Kg a 1,98 mg/Kg (tabla 2), observando valores más altos en los suelos procedentes del cultivo ubicado a 1 Km aproximado de las minas de carbón, muestras identificadas como suelo de cultivo de finca, en estos suelos con alta concentración de Arsénico también se realizó una análisis completo de fertilización donde se observó un pH muy ácido asociado a una alta saturación de aluminio, bajo porcentaje de materia orgánica, bajos niveles edáficos y la alta saturación de Aluminio que favorece el lavado de las bases cambiables. En las muestras correspondientes a los suelos más cercanos a la mina, el nivel de arsénico es menor, comparando con los anteriores suelos, esto puede indicar que al liberarse el Arsénico considerando la dirección de las corrientes de aire, este no es estático y no queda directamente alrededor de la mina sino que se transporta siendo más representativo en los suelos lejanos de las minas de Carbón, lo que aumenta el peligro para los pobladores y el medio ambiente de interactuar con la sustancia.

De igual manera los niveles más bajos del análisis para esta matriz se observan en muestras de suelo alrededor de las minas privadas del sector (minas medianamente tecnificadas) demostrando el mismo patrón y ratificando la importancia de las corrientes de aire en el proceso de transporte del mineral y la probable contaminación generada por el mismo. La presencia de arsénico en el suelo puede ser un factor que afecta el crecimiento de los cultivos y da lugar a procesos de bioacumulación; comparando los niveles de Arsénico para el momento del análisis con los límites permisibles referenciados en la bibliografía de acuerdo la Organización mundial de la Salud, los resultados aún son aceptables (ATSDR, 2005). Con respecto a mercurio se encontraron muy pequeñas trazas en rangos de 0,16 mg/Kg a 0,02 mg/Kg (tabla 2), donde los valores más altos son de suelos aledaños a minas y cerca a fuentes hídricas y los valores más bajos se encuentra en los

Tabla 1. Codificación muestras para el análisis

| Código | Descripción del muestreo |
|-----------|--|
| C- # 1 | Mina de carbón artesanal Plinio Quiroga, vereda la peña carbón medio volátil |
| S- # 2 | Lodo inicial cercano a zona minera (suelo) |
| Tf- # 4.1 | Eucalipto mina 1 Esperanza Flor Caño |
| Tf- # 4.2 | Eucalipto mina 1 artesanal Plinio Quiroga |
| Tf- # 4.3 | Eucalipto mina 1 oscuro alto volátil |
| S- # 5 | Cultivo finca lado izquierdo solo maíz fertilización 20 días |
| S- # 6 | Suelo cultivo finca lado derecho 20 días de fertilización (primer muestreo) |
| S- # 7 | Suelo cerca de la mina castilla |
| S- # 8 | Suelo cultivo finca lado izquierdo sin arveja 20 días de fertilización |
| C- # 9 | Carbón térmico Genesano |
| C- # 11 | Peña estéril mina 1 |
| C- # 13 | Carbón oscuro alto volátil |
| S- # 14 | Suelo cultivo finca tomo centro, mayor crecimiento del cultivo 20 años sin uso 20 días |
| C- # 15 | Residuo de carbón vereda peña mina 1 de Esperanza Flor cañón |
| C- # 18 | Carbón claro bajo en volátiles |
| S- # 19 | Suelo cultivo finca lado derecho 4 días de fertilización (segundo muestreo) |
| S- # 20 | Suelo aledaño a las minas y cerca al río |
| C- # 21 | Carbón de la mina 1 |
| Fh- # 22 | Agua fuente hídrica inicial del muestreo cerca a la primera mina |
| Fh- # 23 | Agua pura nacimiento potreritos |
| Fh- # 24 | Replica de agua fuente hídrica inicial del muestreo cerca a la primera mina |
| Fh- # 25 | Quebrada onda patricio |

C: Muestras de carbón, peña y residuos

S: Muestras suelo y lodo

Tf: Eucalipto

Fh: Fuentes hídricas

Tabla 2. Resultados de cuantificación de As y Hg para Carbón

| CARBON, SUELO, TEJIDO FOLIAR, FUENTES HIDRICAS | | |
|--|--------------|--------------|
| Código de muestra | □ As (mg/Kg) | □ Hg (mg/Kg) |
| C- # 1 | 2,91 | 0,30 |
| C- # 9 | 0,81 | 0,19 |
| C- # 11 | 1,50 | 0,25 |
| C- # 13 | 0,83 | 0,10 |
| C- # 15 | 0,37 | 0,16 |
| C- # 18 | 0,19 | 0,09 |
| C- # 21 | 0,35 | 0,16 |
| S- # 2 | 2,62 | 0,14 |
| S- # 5 | 7,19 | 0,02 |
| S- # 6 | 6,61 | 0,04 |

| | | |
|------------|-------|-------|
| S-# 7 | 1,98 | 0,07 |
| S-# 8 | 6,34 | 0,01 |
| S-# 14 | 5,93 | 0,02 |
| S-# 19 | 4,76 | 0,04 |
| S- # 20 | 4,85 | 0,16 |
| Fh- #22 | 0,00* | 0,00* |
| Fh- #23 | 0,00* | 0,00* |
| Fh- #24 | 0,00* | 0,00* |
| Fh- #25 | 0,00* | 0,00* |
| Tf - # 4.1 | 0,12 | 0,04 |
| Tf - # 4.2 | 0,12 | 0,01 |
| Tf - # 4.3 | 0,10 | 0,01 |

*Valores por debajo del límite de detección

cultivos de la mina, observando que el fenómeno utilizado para los resultados del arsénico no genera el mismo efecto por esta razón en estos puntos de muestreo la concentración es más baja. Tomando los datos obtenidos luego de análisis se observa que las concentraciones no superan los límites permitidos para causar daños tóxicos a corto plazo en el medio ambiente y sus habitantes.

Los datos de tejido foliar correspondientes a muestras de eucalipto presente en zonas aledañas a los terrenos de las minas de carbón presenta valores bajos de los metales en estudio (arsénico entre 0,12ppm y 0,10 ppm y mercurio 0,04ppm y 0,01 ppm), esto puede estar relacionado con la disponibilidad del arsénico y el mercurio en el suelo para ser tomado por los tejidos foliares, teniendo presente que las concentraciones de los metales en estos suelos tampoco es tan significativo. Los límites máximos permisibles al compararlos con los datos obtenidos durante el análisis observamos que las muestras de tejido foliar aledañas a las minas de carbón no tienen adsorción de estos metales. Con respecto análisis de agua los niveles de As y Hg soluble estuvieron por debajo del límite de detección del equipo (tabla 2).

A partir de los resultados encontrados en esta investigación, los niveles de concentración de arsénico y mercurio derivada de la explotación de carbón, no superan los límites permisibles, pero se puede valorar la importancia de la presencia de estos metales en las diferentes matrices de análisis debido a que pueden llegar a acumularse afectando el medio ambiente y por interacción al hombre; con la diaria explotación de las minas, se genera partículas de polvo que se dispersan por el medio a través del aire llegando a los suelos, plantas, fuentes hídricas y el ser humano; estos metales pueden ser absorbidos por los organismos vivos, es por ello que el control de partículas de polvo debe ser importante en cualquier

mina en la cual se genere puesto que este puede producir silicosis y enfermedades pulmonares, de la misma manera las partículas de polvo debe ser controladas para garantizar un mínimo en las minas y áreas industriales asociadas para proteger a los mineros y habitantes aledaños a las minas.

CONCLUSIONES

Se evidencio que tanto el carbón, como las partículas de polvo derivadas del mismo, por tener una estructura química compleja generan contaminantes ambientales durante la explotación, extracción, y transporte del mineral debido a su fácil acumulación; dentro de los contaminantes aportados se pudo determinar la presencia de Arsénico y Mercurio directamente en las muestras de carbón, en muestras de suelos y tejido foliar de zonas aledañas o relacionadas con la mina. La técnica analítica de espectrometría de plasma acoplado inductivamente con emisión óptica (ICP-OES) con sistema de generación de hidruros para el análisis de Arsénico y Mercurio es útil para la evaluación el estudio de dichos metales, mostrando alta sensibilidad; límites de detección y cuantificación de arsénico y mercurio en concentraciones de partes por billón y eficiencia en la cuantificación de varios elementos en una sola toma de muestra.

Los estudios realizados en Colombia sobre el impacto Ambiental y la salud de los trabajadores de las Minas son muy escasos, falta hacer énfasis y desarrollo sobre esta problemática, teniendo en cuenta que es un país con minería de carbón en la mayor parte del territorio.

BIBLIOGRAFIA

1. ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades). 2005. Reseña Toxicológica del

- Arsénico. http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs2.html. Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública.
2. BEDOYA, J.; CARDENAS, S.; ROBLEDO, G.; PAREJA C. 2004 Guía Ambiental Transporte de Carbón. Editorial Marín Vieco Ltda. Medellín. p. 17-20.
 3. GOMEZ, J. 2011. Determinación de la Toxicidad Aguda (CL50) del Extracto de Polvillo de Carbón Frente a Larvas de Artemia Franciscana. <http://www.bdigital.unal.edu.co/4320/1/598923.2011.pdf>. Universidad Nacional de Colombia en convenio con la Universidad de Cartagena.
 4. GONZALES, L. 2013. Impacto de la minería de hecho en Colombia. Estudios de caso: Quibdó, Istmina, Timbiquí, López de Micay, Guapi, El Charco y Santa Bárbara. https://www.uis.edu.co/webUIS/es/catedraLowMaus/lowMauss13_1/terceraSesion/Impacto%20de%20la%20mineria%20de%20hecho%20en%20Colombia.pdf. Instituto de estudios para el desarrollo y la paz (INDEPAZ). Universidad industrial de Santander.
 5. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION, Toma de muestras de carbón en canal en mina. Bogotá: ICONTEC, 2005.7p. (NTC 2713).
 6. UPME (Unidad de planeacion minero energetica). 2012. La cadena del carbon en Colombia. Imprenta nacional de Colombia. Bogota. p. 46-78