

Octubre 14 de 2022

Doctora

JENNIFFER PEDRAZA

Dirección de Asuntos Ambientales Sectorial y Urbana

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Ciudad

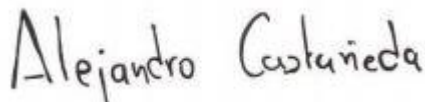
Asunto: Información Convenio ANDEG – SGC ocurrencia de mercurio en el carbón.

Respetada Doctora,

De acuerdo con el compromiso adquirido en el marco de la jornada de socialización sobre el Plan Nacional de Mercurio liderada por usted y realizada durante el comité ambiental de ANDEG el pasado 11 de agosto de 2022, atentamente nos permitimos remitir anexo a esta comunicación, los resultados relevantes del Convenio entre ANDEG y el Servicio Geológico Colombiano, cuyo objeto se centró en la caracterización del carbón y la determinación de la ocurrencia del mercurio en las cuencas carboníferas de donde las empresas afiliadas a ANDEG obtienen el mineral para su uso en el proceso de generación de energía.

Sin otro particular, reiteramos nuestra disposición para ampliar lo que se estime pertinente y para seguir participando en la construcción conjunta de instrumentos que coadyuven al fortalecimiento de la política pública en materia ambiental y en el marco de la construcción del Plan Nacional de Desarrollo.

Atentamente,



Alejandro Castañeda

Director Ejecutivo

INFORME CONVENIO ANDEG – SGC
OCURRENCIA DE MERCURIO EN EL CARBÓN TÉRMICO

CONTENIDO

1.	RESUMEN	5
2.	LOCALIZACIÓN DE LOS MUESTREOS	5
2.1	Boyacá	5
2.2	Norte de Santander	6
2.3	Córdoba	7
3.	METODOLOGÍA	8
4.	RESULTADOS	11
4.1	Boyacá	11
4.2	Norte de Santander	14
4.3	Córdoba	16
4.4	Otros resultados.....	19
5.	CONCLUSIONES	20
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 Localización muestreo Boyacá	6
Ilustración 2 Localización muestreo Norte de Santander	7
Ilustración 3 Localización Muestreo Córdoba	8
Ilustración 4 Muestreo en mina de carbón Norte de Santander	9
Ilustración 5 Toma de muestra del carbón en mina	9
Ilustración 6 Toma de muestra del carbón en mina Córdoba	10
Ilustración 7 Mapas de concentración área del Depto. de Boyacá donde se realizó el estudio del contenido de mercurio	12
Ilustración 8 Mapas de concentración del Depto. de Boyacá donde se realizó el estudio del contenido de azufre	13
Ilustración 9 Mapas de concentración área del Depto. de Boyacá donde se realizó el estudio del contenido de mercurio y azufre Norte de Santander	15
Ilustración 10 Mapas de concentración que muestran el área del Depto. de Córdoba donde se realizó el estudio del contenido de mercurio y azufre.	18

Lista de figuras

Figura 1 Contenido de mercurio por campo Boyacá	12
Figura 2 Correlación Azufre y Hg Boyacá	13
Figura 3 Contenido de mercurio por muestra en Norte de Santander	14
Figura 4 Correlación Azufre y Hg Norte de Santander	16
Figura 5 Contenido de mercurio por campo Córdoba	16
Figura 6 Correlación Azufre y Hg Córdoba	17

Lista de tablas

Tabla 1 Resumen resultados por departamento	19
---	----

1. RESUMEN

De acuerdo con las políticas de investigación del Servicio Geológico Colombiano – SGC, Plan Único de Mercurio y Plan Estratégico sectorial para la eliminación del uso de mercurio se trabajó de la mano con la ASOCIACIÓN NACIONAL DE EMPRESAS GENERADORAS - ANDEG, mediante el CONVENIO ESPECIAL DE COOPERACIÓN No. 032 DE 2019, mediante el cual se desarrolló, un proyecto que estudia la ocurrencia del mercurio en el carbón en áreas de Norte de Santander, Boyacá, Córdoba y Guajira, como parte integral en la generación de conocimiento geo científico del subsuelo del territorio nacional.

En este contexto, y con el fin de establecer una línea base del contenido de mercurio y las relaciones Inter paramétrica en los carbones de Norte de Santander, Boyacá, Córdoba y Guajira y su efecto en procesos de combustión, el Grupo de Caracterización, Procesamiento e Investigación de Carbones y Materiales Energéticos del SGC con la participación de personal de empresas generadoras afiliadas ANDEG realizó los muestreos de carbón en 84 frentes de mina de las áreas carboníferas de Boyacá, 54 minas de las áreas carboníferas Norte de Santander y 4 minas de Córdoba, previa socialización del proyecto “Ocurrencia de Mercurio en Carbones” por parte del SGC, a las Empresas y a sus proveedores. Las muestras fueron tomadas en frentes de minas activas, en 24 municipios de Boyacá, en 6 municipios de Norte de Santander y 2 municipios de Córdoba, caracterizándolas en 24 parámetros fisicoquímicos, obteniendo un insumo importante en aspectos de: clasificación, investigación, comportamiento del mercurio, evaluación ambiental, social y económica. Además, se tomaron dos muestras, de roca techo y de roca piso para realizar la columna estratigráfica de las zonas donde se encuentran las minas muestreadas. Esto se realizó con el fin de evaluar integralmente los resultados obtenidos de la caracterización, para potencializar la utilización del carbón y generar valor agregado a este recurso energético.

2. LOCALIZACIÓN DE LOS MUESTREOS

2.1 Boyacá

Las minas de carbón visitadas se encuentran en las áreas carboníferas denominadas 803 (Tunja-Paipa-Duitama) y 804 (Sogamoso-Jericó) ubicadas en la Cordillera Oriental, Departamento de Boyacá

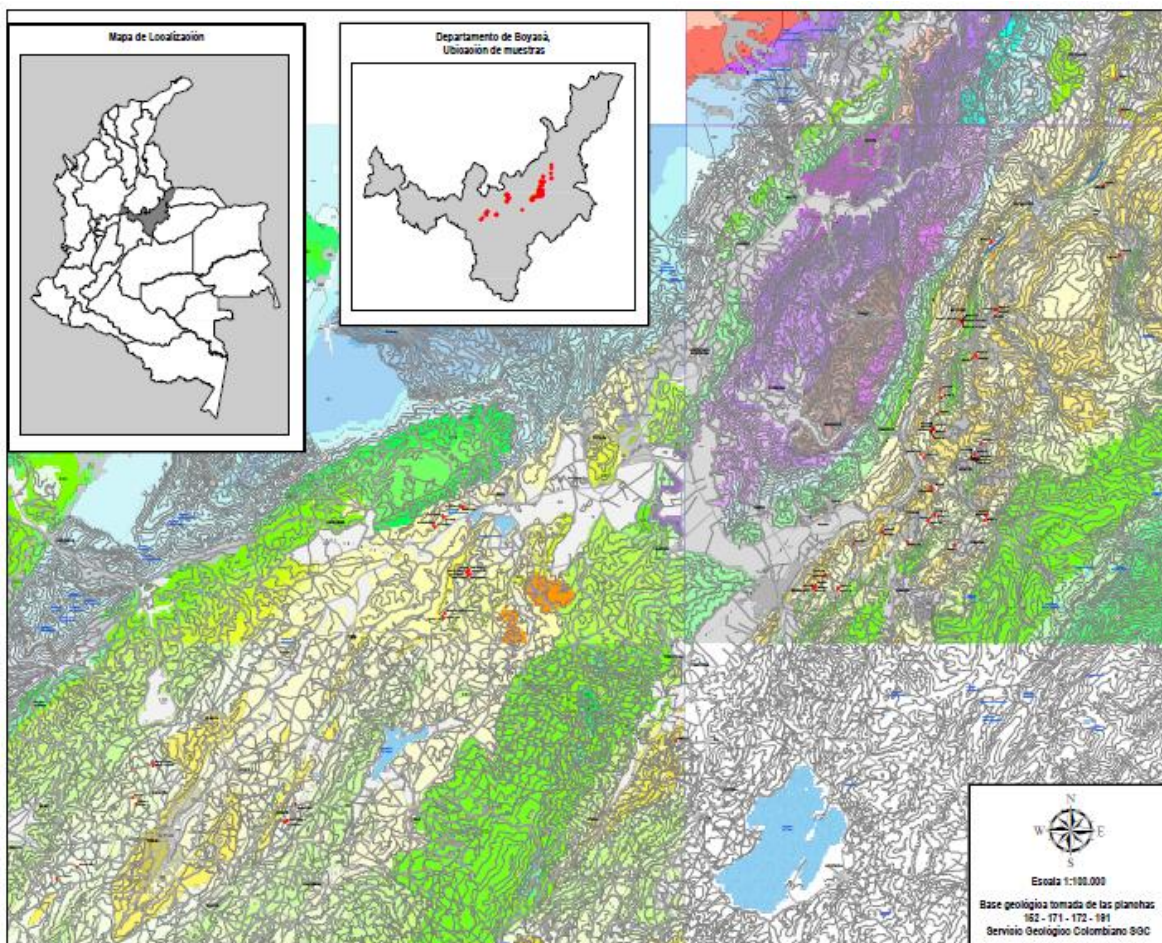


Ilustración 1 Localización muestreo Boyacá

Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2022

Las muestras de Boyacá provienen de mantos de carbón de la formación Guaduas, minas activas subterráneas ubicadas en la Cordillera Oriental con alturas entre 2400 a 3300 msnm, entre los municipios de Paipa, Sogamoso, Tópaga, Motavita, Mongua, Gámeza, Tasco, Corrales, Chivatá, Iza, Cucaita, Socha, Paz del Río, Sativasur, Tuta, Betétiva, del departamento de Boyacá.

2.2 Norte de Santander

Las minas de carbón muestreadas en Norte de Santander se encuentran en las áreas carboníferas denominadas: Área carbonífera 1001 Chitagá, Área carbonífera 1002 Mutiscua – Cácuta, Área carbonífera 1003 Pamplona-Pamplonita, Área carbonífera 1004 Herrán-Toledo ubicadas en la Cordillera Oriental, Departamento de Norte de Santander.

Asociación Nacional de Empresas Generadoras - ANDEG
Calle 100 N° 8 A – 49 – Torre B, Ofc 603
Teléfono: (571) 8055283 – (571) 7559176

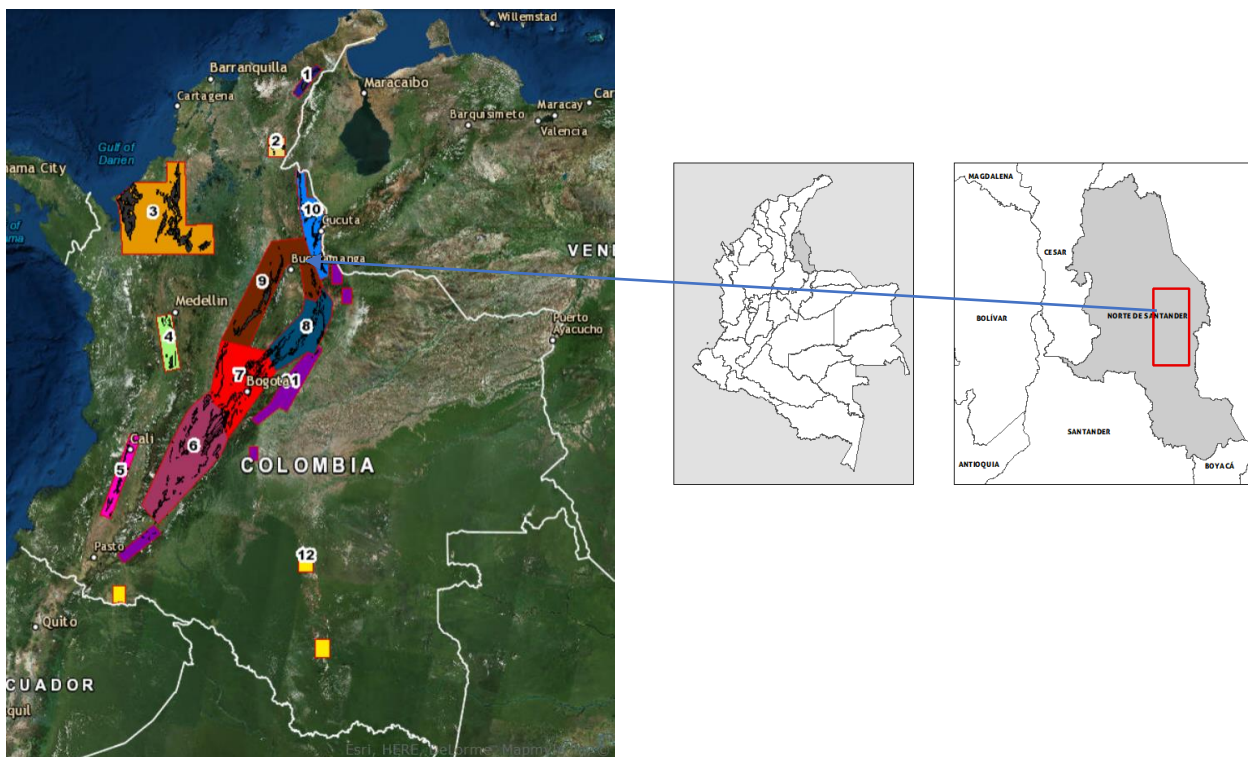


Ilustración 2 Localización muestreo Norte de Santander

Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2022

2.3 Córdoba

Las minas de carbón visitadas y muestreadas en Córdoba se encuentran en el área carbonífera 303 Alto San Jorge, la más importante de la zona del departamento de Córdoba, localizada hacia el Sur del departamento de Córdoba, sobre las estribaciones septentrionales de la cordillera occidental (Rincón y Monroy, 2012), Formación Cerrito (TMPC), unidad que yace, discordantemente, sobre la Formación Porquero e infrayace a la Formación Sincelejo.

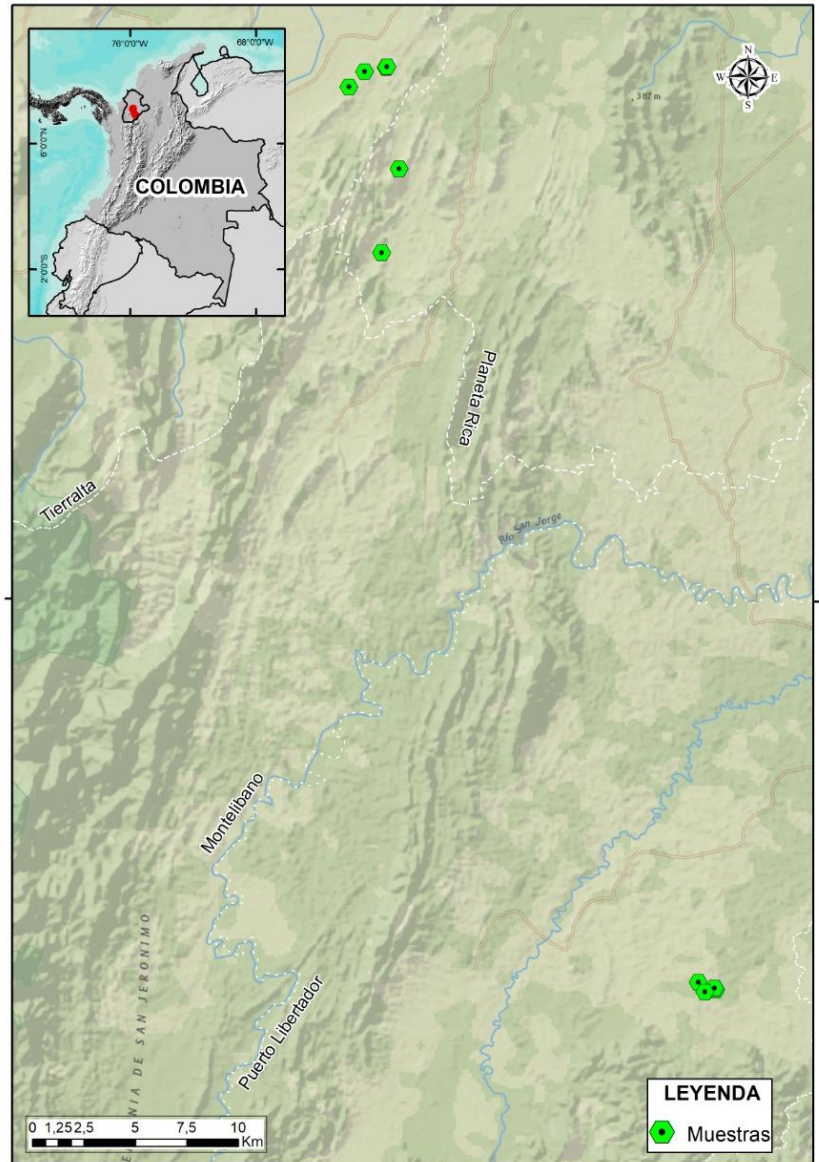


Ilustración 3 Localización Muestreo Córdoba

Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2022

3. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en el estudio se resume:

- Recopilación de información
- Revisión de las planchas y descripción geológica

- Socialización con las empresas y productores de carbón para determinar las zonas de las minas proveedoras con el fin de contar con su cooperación
- Elaboración de tablas de resultados y mapas de concentración de mercurio, azufre y azufre pirítico y mapa de calidad

Para la toma de las muestras de carbón se ingresó a minas subterráneas y a cielo abierto activas en Boyacá, Norte de Santander y Córdoba, se tomaron muestras frescas directamente de la parte intermedia del manto, previo cuarteo (8 Kg por muestra para humeado de equilibrio (HE) y 20 kg para análisis fisicoquímicos. Todas las muestras fueron georreferenciadas con GPS de la bocamina y se recolectaron datos geológicos de cada sitio.



Ilustración 4 Muestreo en mina de carbón Norte de Santander



Ilustración 5 Toma de muestra del carbón en mina



Ilustración 6 Toma de muestra del carbón en mina Córdoba

Para establecer la línea base del contenido de mercurio en los carbones y su efecto en procesos de combustión, el GT CPICME¹ tomó en las áreas:

- Boyacá: 84 muestras en frentes de mina en 24 municipios
- Norte de Santander: 95 muestras en 56 frentes de mina en 5 municipios de cuatro áreas carboníferas.
- Córdoba: 8 muestras en frentes de mina en 2 municipios

Se caracterizaron 24 parámetros fisicoquímicos y petrográficos, obteniendo un insumo importante en aspectos de: clasificación, investigación en combustión, el comportamiento del mercurio durante la combustión del carbón, evaluación ambiental.

Se realizaron los siguientes análisis a las muestras recolectadas así: próximo, elemental, mercurio, formas de azufre, poder calorífico, cloro, flúor, humedad de equilibrio, índice de Hardgrove (HGI), análisis químico (elementos mayores,

¹ Grupo de trabajo laboratorio de caracterización, procesamiento e investigación de carbones y materiales energéticos

menores y trazas) de cenizas y reflectancia de la vitrinita en el Laboratorio de Carbones del SGC.

Se efectuaron dos salidas de campo, para la realización de las columnas estratigráficas donde las condiciones lo permitieron.

Los resultados obtenidos fueron comparados con estudios realizados por parte del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), el cual ha recopilado en los últimos 25 años información de análisis de mercurio en 7.000 muestras de carbón, mostrando una media de 170 $\mu\text{g/kg}$, el 80% de esta población contiene niveles menores a 250 $\mu\text{g/kg}$. Además, se indica que el carbón exportado desde Colombia está por debajo del promedio tanto para el mercurio como para el arsénico (Kolker, 2011).

4. RESULTADOS

- Participación de la Asociación Nacional de Empresas Generadoras - ANDEG, mediante el Convenio Especial de Cooperación No. 032 de 2019 y reunión con ANDEG y las empresas con el fin de informar avances en las actividades del proyecto y contactos con las termoeléctricas.
- Generación de una base de datos con las características geológicas y fisicoquímicas de los carbones analizados para su clasificación.
- Realización del capítulo de Geología para el informe Proyecto de Gestión Ocurrencia del mercurio en el Departamento de Boyacá, Norte de Santander y Córdoba.

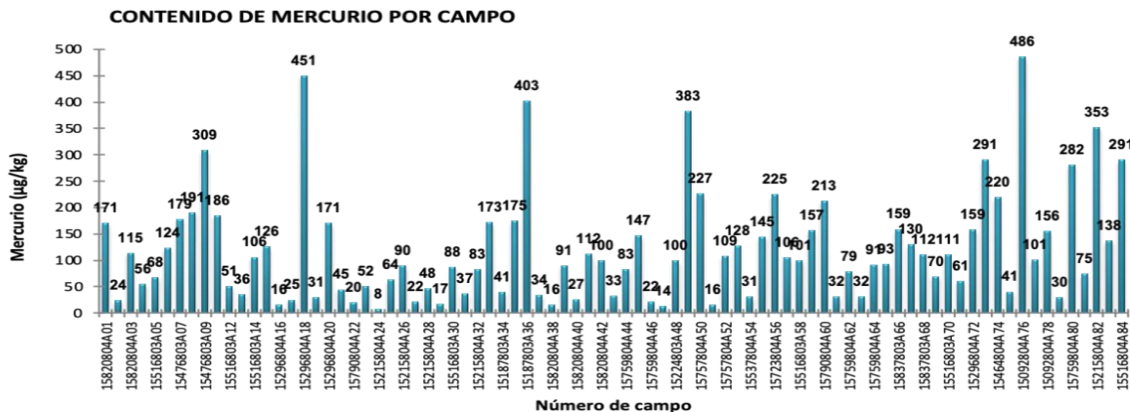
Se analizó el contenido de mercurio en las muestras de carbón tomadas en frentes de mina y además se realizó un análisis de correlación del contenido de mercurio con otros elementos como el azufre. Esta correlación se evaluó a través del coeficiente de Pearson, como una medida de dependencia lineal entre las dos variables (contenido de mercurio y contenido de azufre).

4.1 Boyacá

En la zona estudiada de Boyacá, el contenido de mercurio, en base seca en las muestras de carbón tomadas en frente de mina, se encuentra en concentraciones desde 8 $\mu\text{g/kg}$ a 486 $\mu\text{g/kg}$, siendo los valores más altos correspondientes a las muestras de carbón que presentan los mayores porcentajes de azufre total. En otras zonas donde se ha analizado el mercurio

puede llegar a 900 µg/kg. El valor medio del contenido de mercurio en base seca en las muestras analizadas es de 127 µg/kg, valor menor al promedio mundial de 170 µg/kg.

Figura 1 Contenido de mercurio por campo Boyacá



Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2022

El siguiente mapa muestra las concentraciones del contenido de mercurio encontrado en las áreas muestreadas del departamento de Boyacá. Así mismo se muestra un mapa de relación de la concentración de azufre.

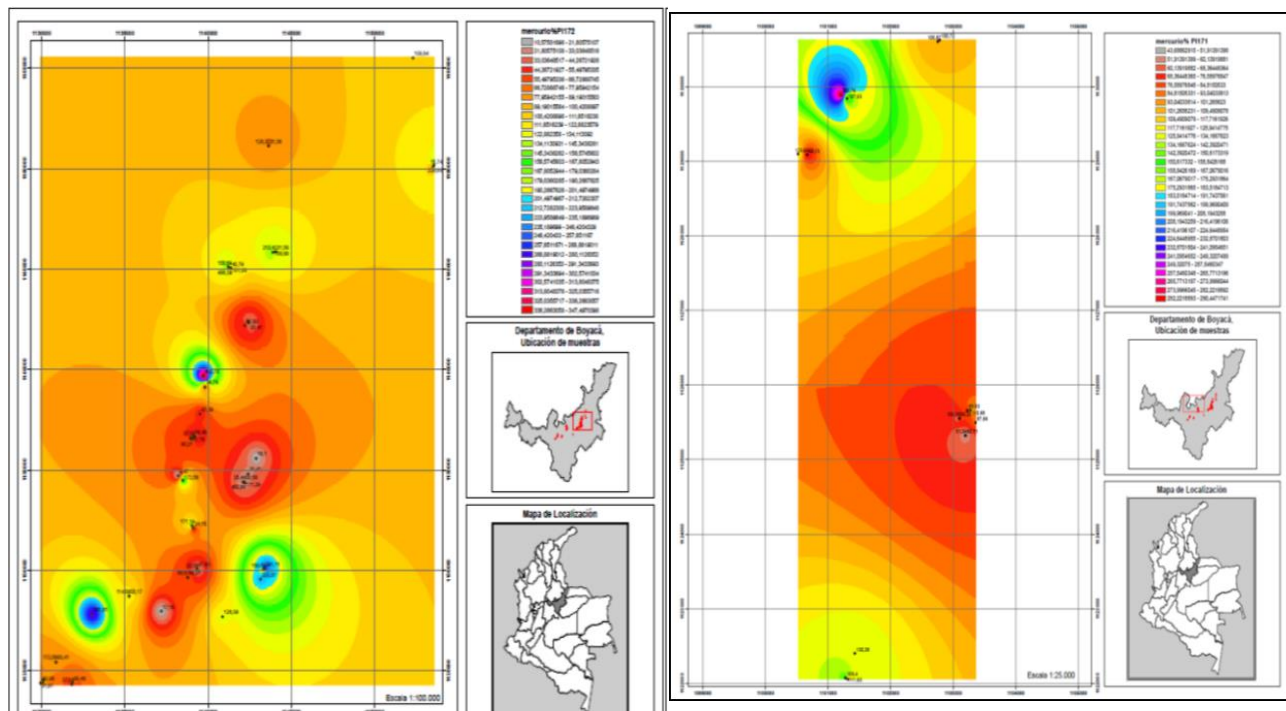


Ilustración 7 Mapas de concentración área del Depto. de Boyacá donde se realizó el estudio del contenido de mercurio

Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2022

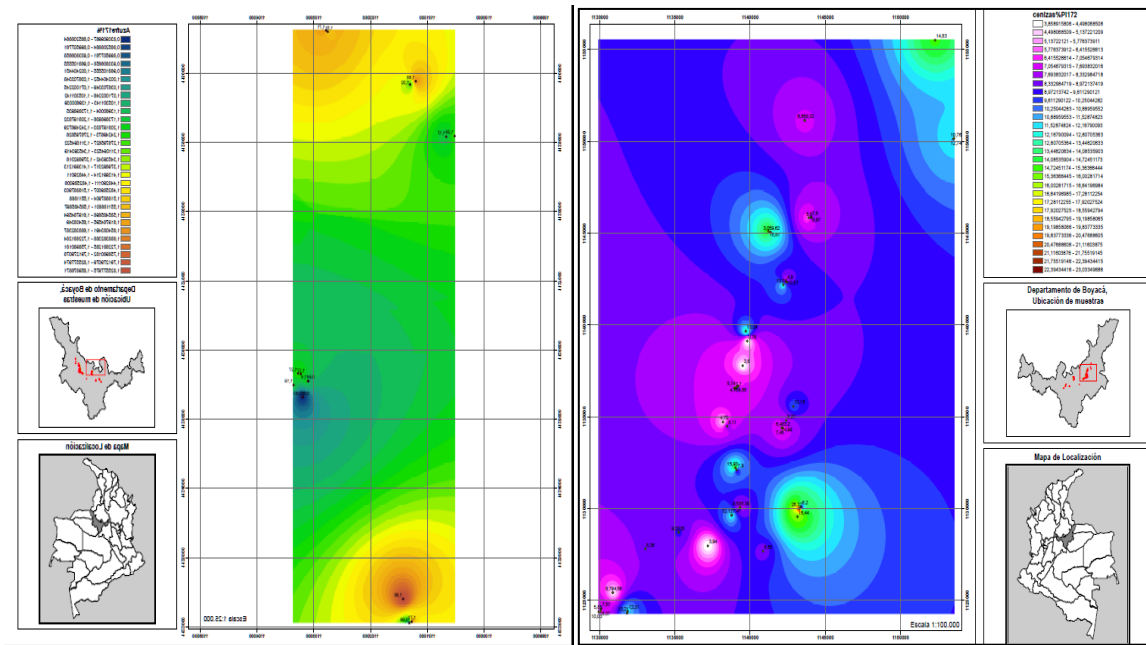
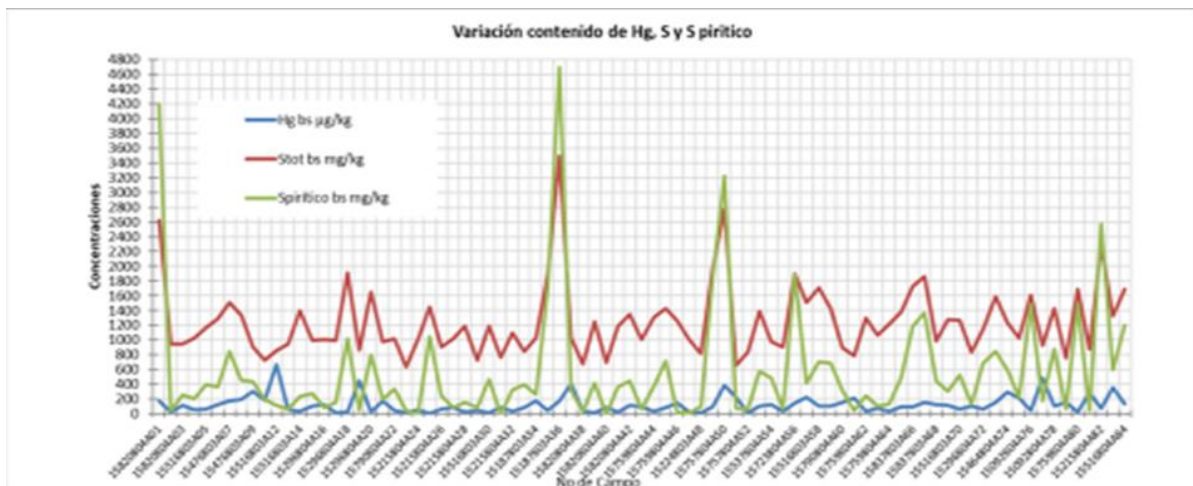


Ilustración 8 Mapas de concentración del Depto. de Boyacá donde se realizó el estudio del contenido de azufre

Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2022

Se encontró además una correlación directa, aceptablemente significativa, entre el contenido de mercurio Hg con ST de azufre total (%) de 0.43 y SP de azufre pirítico (%) en base seca.

Figura 2 Correlación Azufre y Hg Boyacá

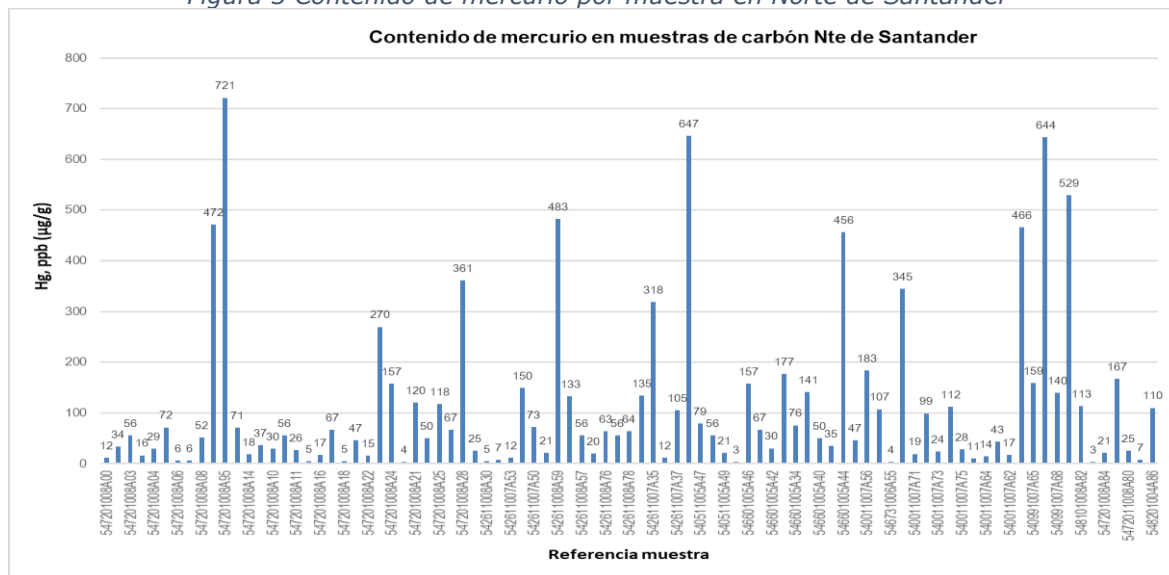


Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2022

4.2 Norte de Santander

En la zona estudiada de Norte de Santander, el contenido de mercurio, en base seca en las muestras de carbón tomadas en frente de mina se encuentra en concentraciones desde 3 µg/kg a 721 µg/kg, siendo los valores más altos correspondientes a las muestras de carbón que presentan los mayores porcentajes de azufre total. El promedio es 114 µg/kg, siendo menor al promedio mundial de 170 µg/kg.

Figura 3 Contenido de mercurio por muestra en Norte de Santander



Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2022

Los carbones de Norte de Santander presentan una reflectancia media entre 0.45 – 0.65 %, indicando que el rango de madurez es bajo y son clasificados según la norma ASTM D388-19a corresponden a Bituminoso alto volátil (A, B y C).

El siguiente mapa muestra las concentraciones del contenido de mercurio encontrado en las áreas muestreadas del departamento de Norte de Santander. Así mismo se muestra un mapa de relación de la concentración de azufre.

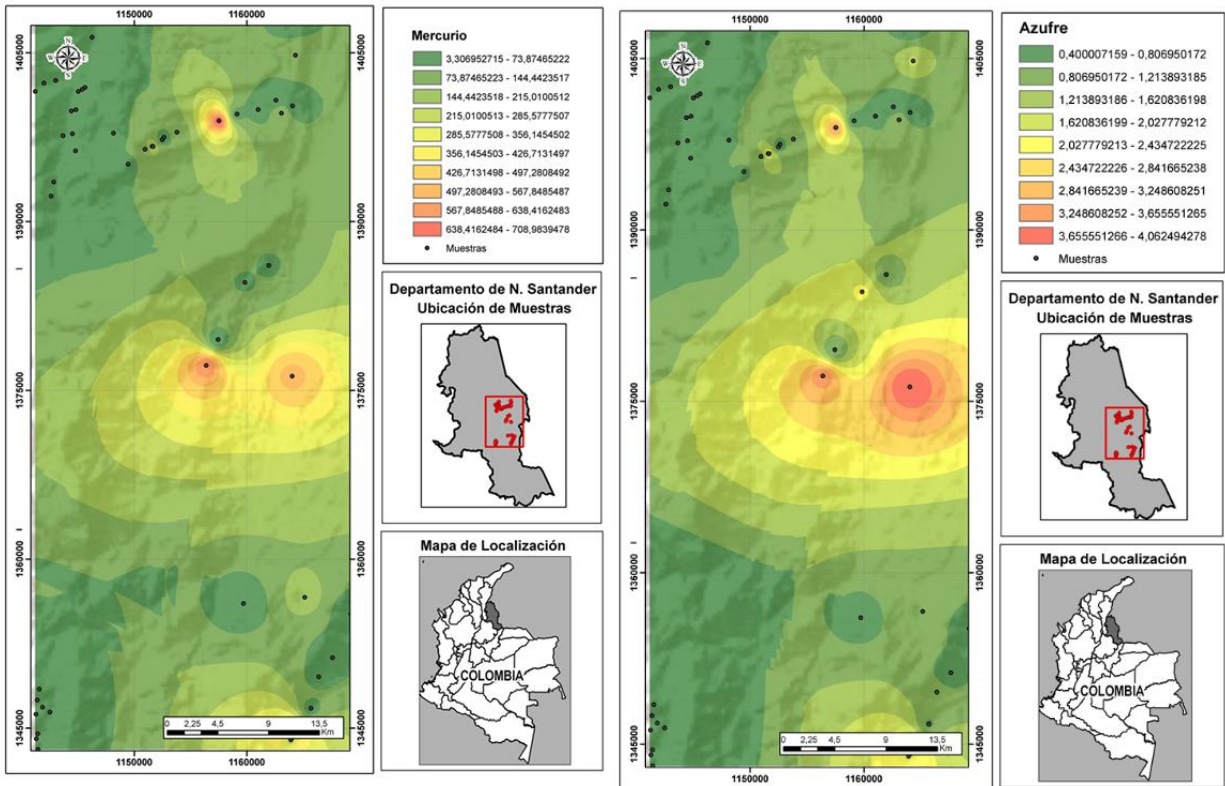
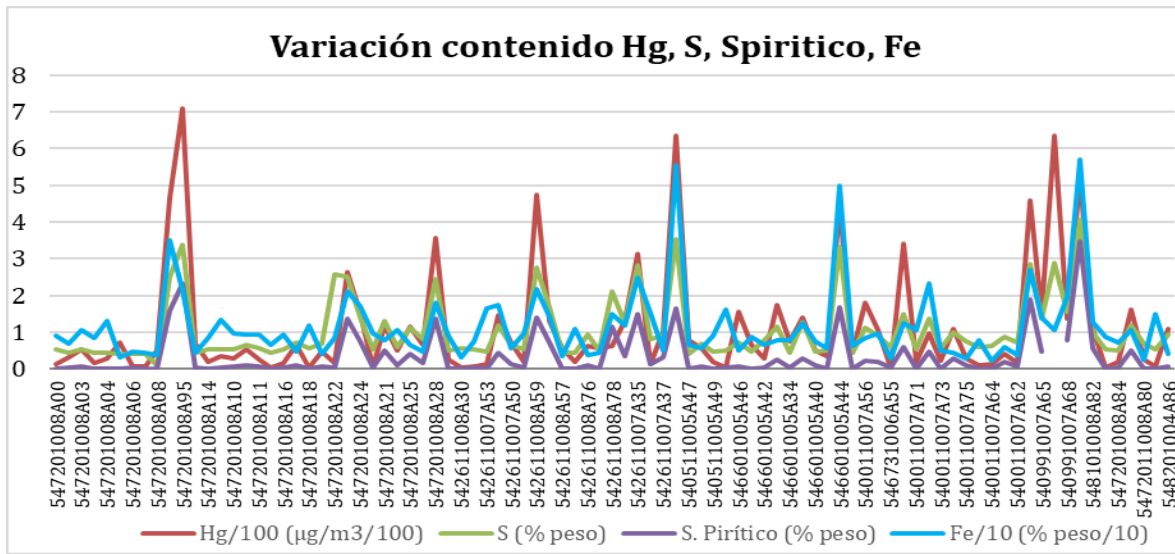


Ilustración 9 Mapas de concentración área donde se realizó el estudio del contenido de mercurio y azufre Norte de Santander

Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2022

Se encontró una correlación directa, entre el contenido de Hg con Azufre total ST y Azufre pirítico SP (%) en base seca: Coeficientes de correlación de Pearson de Azufre: 0.89, Azufre pirítico: 0.90 y Hierro: 0.72

Figura 4 Correlación Azufre y Hg Norte de Santander

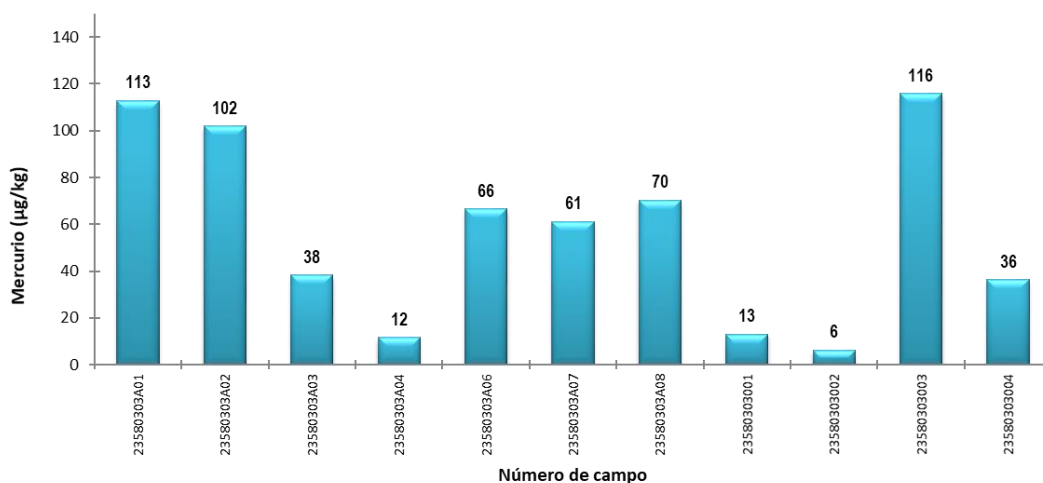


Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2022

4.3 Córdoba

En la zona estudiada de Córdoba, el contenido de mercurio, en base seca en las muestras de carbón tomadas en frente de mina, se encuentra en concentraciones desde $6\mu\text{g}/\text{kg}$ a $116\mu\text{g}/\text{kg}$, siendo los valores más altos correspondientes a las muestras de carbón que presentan los mayores porcentajes de azufre total. El promedio es $58\mu\text{g}/\text{kg}$, siendo este contenido inferior al promedio mundial de $170\mu\text{g}/\text{kg}$.

Figura 5 Contenido de mercurio por campo Córdoba

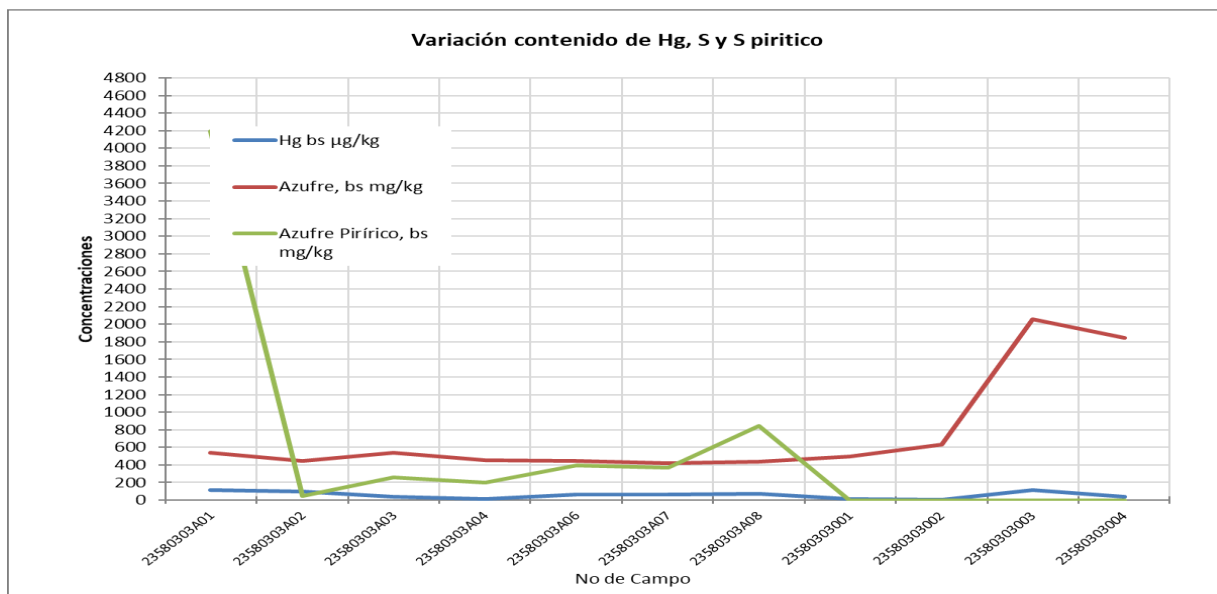


Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2022

Asociación Nacional de Empresas Generadoras - ANDEG
Calle 100 N° 8 A – 49 – Torre B, Ofc 603
Teléfono: (571) 8055283 – (571) 7559176

Se encontró una correlación directa, entre el contenido de Hg con Azufre total ST y Azufre pirítico SP (%) en base seca: Coeficientes de correlación de Pearson de Azufre: 0.05, Azufre pirítico: 0.35.

Figura 6 Correlación Azufre y Hg Córdoba



Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2022

El siguiente mapa muestra las concentraciones del contenido de mercurio encontrado en las áreas muestreadas del departamento de Córdoba. Así mismo se muestra un mapa de relación de la concentración de azufre.

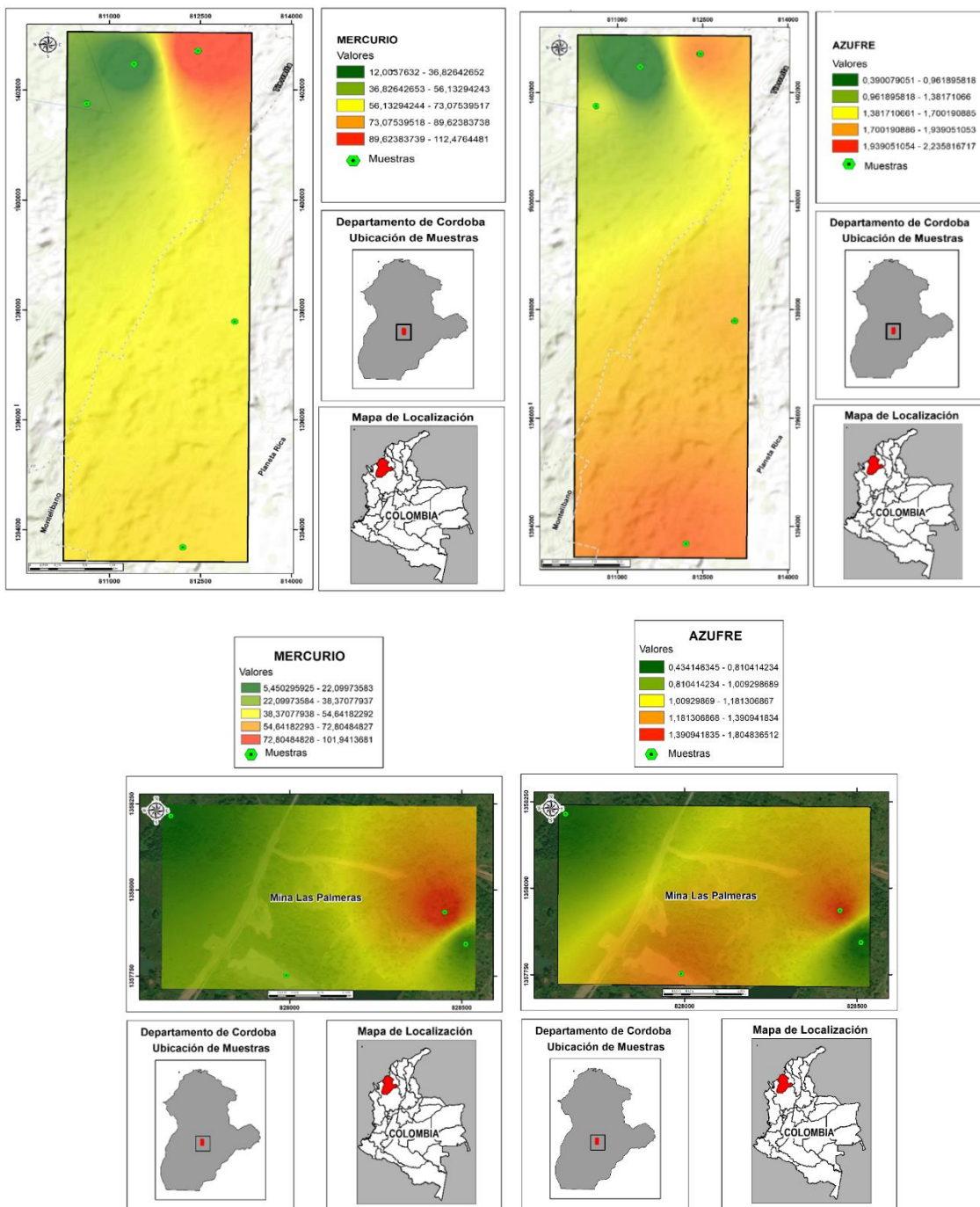


Ilustración 10 Mapas de concentración que muestran el área del Depto. de Córdoba donde se realizó el estudio del contenido de mercurio y azufre.

Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2022

Tabla 1 Resumen resultados por departamento

REGIÓN	BOYACÁ	NORTE DE SANTANDER	CÓRDOBA
RANGO MÍNIMO HG (µG/KG)	8	3	6
RANGO MÁXIMO HG (µG/KG)	486	721	116
PROMEDIO (µG/KG)	127	114	58
PROMEDIO MUNDIAL (µG/KG) ²	170	170	170
CORRELACIÓN DE PEARSON AZUFRE TOTAL	0,43	0,89	0,05
CORRELACIÓN DE PEARSON AZUFRE PIRÍTICO	0,43	0,90	0,35

Fuente: Elaborado a partir de Servicio Geológico Colombiano, 2022

4.4 Otros resultados

Respecto a los procesos de combustión, aunque pueden liberarse pequeñas cantidades de mercurio durante las tareas de almacenamiento y manejo del carbón, parte del mercurio se emite por las chimeneas de combustión una vez que se quema. Las calderas funcionan a temperaturas superiores a los 1100°C y el mercurio contenido en el carbón se evapora y se libera como gas. Parte del gas de mercurio liberado puede enfriarse y condensarse al pasar por la caldera y por el dispositivo de control de la contaminación del aire. La fracción de mercurio que no se emite a la atmósfera durante la combustión queda atrapada en los subproductos como las cenizas de fondo y las cenizas volantes recuperables.

De acuerdo con los resultados obtenidos el mercurio es atrapado por las cenizas volantes en un porcentaje promedio del 70%.

² Allan Kolker, J. C (2011) "Mercury and Halogens in Coal—Their Role in Determining Mercury Emissions From Coal Combustion". USGS United States

5. CONCLUSIONES

- El carbón por ser un mineral heterogéneo contiene mercurio en diferentes concentraciones y formas de combinación, que dependen del origen del carbón, edad geológica, flora y fauna, así como la presión y temperatura que soportaron hace millones de años.
- El mercurio se encuentra generalmente formando sulfuros por ello su contenido está directamente relacionado con el contenido de cenizas, azufre total, azufre pirítico y material mineral.
- Es importante analizar la concentración de cloro y flúor ya que son los halógenos que controlan la gasificación del mercurio al quemar el carbón, formando complejos que son fácilmente capturados por equipos para el control de la contaminación, y por lo tanto de las cenizas volantes.
- El valor medio del contenido de mercurio en base seca en las muestras analizadas en los carbones de la zona de Boyacá es de 127 µg/kg. En estas zonas de carbón, el promedio de mercurio es más bajo que el de la corteza terrestre.
- El valor medio del contenido de mercurio de las muestras tomadas en Norte de Santander es de 114 µg/kg. Además, se encuentra fuertemente relacionado con el Azufre, azufre pirítico y el hierro con coeficientes de correlación de Pearson de 0.89, 0.90 y 0.72 respectivamente.
- El valor medio del contenido de mercurio en base seca en las muestras analizadas en la zona de Córdoba es de 66 µg/kg En estas zonas de carbón, el promedio de contenido mercurio, es más bajo que el de la corteza terrestre.
- La fracción de mercurio que no se emite a la atmósfera durante la combustión queda atrapada en los subproductos como las cenizas pesadas y las cenizas volantes recuperables. El mercurio es atrapado por las cenizas volantes en un porcentaje promedio del 70%.
- Las concentraciones de mercurio analizadas en el aire están dentro de los límites establecidos para plantas existentes que producen menos y más de 300 MW respectivamente según la legislación ambiental de la Unión Europea vigente: Directiva 2010/75/EU de 31 de julio de 2017 la cual presenta los niveles máximos permisibles para mercurio en plantas térmicas a carbón.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Sarmiento, G. (1992). Estratigrafía y medios de depósito de la Formación Guaduas. *Boletín Geológico*, 32(1-3), 188. Retrieved from <https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/Seriadas/Documents/BoletinGeolVol32No1-3.pdf>

Ulloa, C., Rodríguez, E., & Renzi, G. (1981). Geología de la Plancha 171 Duitama, 191 Tunja, 211 Tauramena y 230 Monterrey Cuadrángulos J – 12 Y K – 13. Memoria Explicativa. *Boletín Geológico*, 24, numero(1976), 55. Retrieved from <http://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010010024364/documento/pdf/0101243641101000.pdf>

Ulloa, C., Rodríguez, E., & Rodríguez, G. (2003). Geología de la Plancha 172, Paz de Río, Memoria explicativa. *Geología De La Plancha 172 Paz De Río*, 111.

Kolker A, J. C (2011) "Mercury and Halogens in Coal—Their Role in Determining Mercury Emissions From Coal Combustion". USGS United States

EVALUACIÓN MUNDIAL SOBRE EL MERCURIO, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE PRODUCTOS QUÍMICOS, Publicado por el PNUMA Productos Químicos Ginebra, Suiza diciembre de 2002 Versión en español publicada en junio 2005

Ochoa González, Raquel (2011) Retención de mercurio en sistemas de desulfuración en fase húmeda, Tesis doctoral, Universidad de Oviedo

Rincón, M. A.; Monroy, W. O. (2012). El carbón colombiano. Recursos, reservas y calidad (Segunda ed). Servicio Geológico Colombiano -SGC. Bogotá D.C.

Morales y., W. y Carmona I., (2007) Estudio de algunos elementos traza en carbones de la cuenca Cesar – Ranchería, Colombia, *Boletín de Ciencias de la Tierra*, No 20

Swaine, Dalway J., (2000) Why trace elements are important, *Fuel Processing Technology*, 65 – 63

Van der Hammen, T. (1958). Estratigrafía del Terciario y Maastrichtiano continentales y tectogénesis de los Andes colombianos, *Boletín Geológico*, 6 (1-3). Bogotá: Servicio Geológico Nacional.

United Nations Environment Programme, 2011, Process optimization guidance for reducing mercury emissions from coal combustion in power plants

Kolker, A., Quick, J., Senior, C. y Belkin, E., 2012, Mercury and Halogens en carbón – Their role in Determining Mercury Emissions from Coal Combustion, USGS United States

Kolker, A. and Quick, J.C., 2014, Mercury and halogens in coal, in Granite, E.J., Pennline, H.W., and Senior, C.L., eds., Mercury Control: for Coal-Derived Gas Streams, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., 445 p

Porras, P. (2019). *Análisis de carbones térmicos de Boyacá para evaluar su potencial metalífero* (Pregrado). Universidad Nacional, Bogotá.