

**Informe de auditoría técnica de la CGR.**

**Auditoría de aguas y ambiental en tres minas de carbón en el Cesar,  
Colombia: Carbones de la Jagua (CDJ), Norcarbón y Pribbenow (junio y  
noviembre de 2013)**

**por**

**Robert E. Moran y la Contraloría General de Colombia**

**Septiembre de 2015**

## **Introducción**

Este informe resume las actividades de auditoría de aguas de la CGR en tres minas de carbón en la región del Cesar e inicia el proceso de identificación de los impactos en los recursos hídricos (aguas subterráneas y superficiales) de esta región. Es el resultado de dos años de interacción entre la Contraloría General de la República (CGR) de Colombia y el Dr. Robert Moran, con el apoyo y la financiación de PAX (antes IKV Pax Christi), de los Países Bajos.

Los asuntos de auditoría que se enfocan ampliamente en cuestiones de cumplimiento normativo, son discutidos en detalle en los informes que fueron previamente publicados por la Contraloría General de la República de Colombia (CGR). Este informe se enfoca en los datos de aguas (calidad y cantidad) recolectados independientemente. Otra meta de este esfuerzo fue evaluar la calidad de la supervisión a cargo de las entidades reguladoras relevantes colombianas.

El equipo de auditoría estuvo compuesto por miembros de varios departamentos (delegados) de la CGR, asistidos por el equipo del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), la Empresa de Acueducto de Bogotá (EAB), la autoridad de control de aguas de la ciudad de Bogotá, y el Dr. Robert Moran.

Las actividades de auditoría con la CGR implicaron la capacitación técnica, la revisión y evaluación de los datos existentes en el archivo del Ministerio del Medio Ambiente y ANLA; entrevistas con el personal de Corpocesar en Valledupar y la revisión de datos de sus archivos; la revisión de fotografías aéreas y de imágenes satelitales de las regiones carboníferas; el reconocimiento de campo y prácticas en la toma de medidas de campo en las regiones de La Loma / Drummond durante julio de 2012; prácticas en actividades de auditoría de campo en la Reserva de Chingaza en abril de 2013. También interactuamos con el personal del laboratorio del Acueducto de Bogotá (y otros laboratorios comerciales), para determinar las capacidades de laboratorio y organizar el apoyo analítico para la próxima auditoría.

Los esfuerzos se enfocaron en la recolección de información y datos disponibles y nuevos relacionados con la calidad y la cantidad de los recursos hídricos en las minas Carbones de la Jagua (CDJ), Norcarbón y Drummond Pribbenow, así como en sus alrededores. Análisis de la calidad del agua relativamente “completos”, resultan costosos, en este caso, aproximadamente \$1000 dólares por muestra para los costos analíticos solamente. Los asuntos logísticos de realizar investigaciones de campo en zonas tan difíciles y a veces inseguras resultan también complicados y costosos. Debido a las restricciones del presupuesto, estos esfuerzos son limitados y representan solamente una evaluación inicial de estos recursos e impactos hídricos.

Las actividades de campo de la auditoría fueron realizadas en dos fases: la primera en las minas Carbones de la Jagua (CDJ) y Norcarbón; la segunda en la mina Pribbenow, de Drummond.

La primera fase de las actividades de campo de la auditoría fue realizada en y alrededor de las operaciones mineras de CDJ y Norcarbón entre el 24 y el 28 de junio de 2013 por el equipo de auditoría de la la CGR, junto con el personal de apoyo del Acueducto, el IDEAM y el Dr. Moran.

La primera fase fue realizada entre el 24 y 28 de junio 2013 en las zonas de CDJ y Norcarbón porque:

- 1- Estas minas están localizadas en la margen oriental de la cuenca minera, donde emergen las formaciones sedimentarias, formando la Serranía de Perijá y la frontera con Venezuela (ver figura 1). Las montañas en el lado oriental de estas minas son las zonas principales de recarga de agua a los sedimentos. Por tanto, las minas están en gran parte en gradiente ascendente de los otros impactos a la calidad y cantidad del agua, diferentes de aquellos causados por las actividades en CDJ y Norcarbon. Adicionalmente, debido a que las montañas están cerca de los servicios de la mina, las corrientes de flujo de las aguas subterráneas son generalmente más cortas que aquellas en las minas más hacia el oeste y en gradiente descendente. Estando en gradiente ascendente, hidrogeológicamente, de casi todas las otras actividades (agrícolas, industriales, municipales, y de otras minas, evapotranspiración, etc.) la interpretación de los datos está muy simplificada.
- 2- Estas operaciones mineras fueron más pequeñas y técnicamente menos complicadas que en otras minas en el Cesar en gradiente descendente. Una situación semejante permitiría también al equipo de la CGR perfeccionar muchas de las complicadas interacciones logísticas necesarias para las fases posteriores de la auditoría.

Las actividades de campo de la auditoría en la segunda fase fueron realizadas en la mina Pribbenow (Drummond) por el equipo de auditoría de la CGR, sin la presencia del Dr. Moran, entre el 19 y el 23 de noviembre de 2013. Esta zona está al oeste de las minas CDJ y Norcarbón, más lejos de la Serranía de Perijá, y más abajo en gradiente hidrogeológica (ver figura 1). Las entradas y desviaciones hidrogeológicas en esta zona son más complicadas que en la zona de la fase 1, siendo impactadas por actividades agrícolas, de construcción y domésticas adicionales. Estas actividades desvían claramente las aguas en ciertas zonas y les agregan polucionantes como fertilizantes, pesticidas, productos del petróleo, aguas residuales, etc. en otras, impactando con concentraciones de nitratos, amoníaco, fosfatos, carbón orgánico, sólidos completamente disueltos y suspendidos, bacterias, etc. —adicionalmente a aquellos impactos resultantes de las operaciones carboníferas.

### **Antecedentes.**

La minería de carbón a cielo abierto y a gran escala en el departamento del Cesar, en el norte de Colombia, ha tenido lugar durante más de 20 a 25 años. Esta minería en el Cesar se ha expandido drásticamente en las décadas recientes, como lo muestran dos imágenes satelitales, la primera tomada en 2002 y la segunda en 2014 (figura 1). Sin embargo, las entidades de control importantes en Colombia disponen de datos de aguas y ambientales (cantidad y calidad) poco útiles y fiables, con los cuales se puedan evaluar, supervisar y controlar las actividades de la minería de carbón en el Cesar.

La producción de carbón colombiana ha aumentado más del 30 por ciento en los pasados cinco años, la mayoría de la cual es exportada. En 2011, Colombia fue el quinto exportador de carbón en el mundo, después de Australia, Indonesia, Rusia y Suráfrica (Asociación Mundial del Carbón, 2012). La mayoría del carbón colombiano es exportada a Europa (43% en 2011), Estados Unidos (10%) y otros países suramericanos (20%) [Sistema de Información Minero Colombiano, 2011]. El volumen que va a los mercados asiáticos está aumentando. Los Países Bajos han sido el destino de exportación de carbón más importante para Colombia desde 2009 (Administración de la Información Energética de Estados Unidos, 2009). Hay pocas razones para esperar que esta expansión en la producción carbonífera vaya a cesar, por tanto, los impactos en los recursos hídricos locales también aumentarán.

Los recursos hídricos en la región del Cesar son extremadamente limitados, especialmente durante la temporada seca, y la competencia por el dominio de estas aguas solamente aumentará en la medida en que la minería a gran escala se expanda, las poblaciones aumenten y los impactos como consecuencia del cambio climático pronosticados hagan efecto.



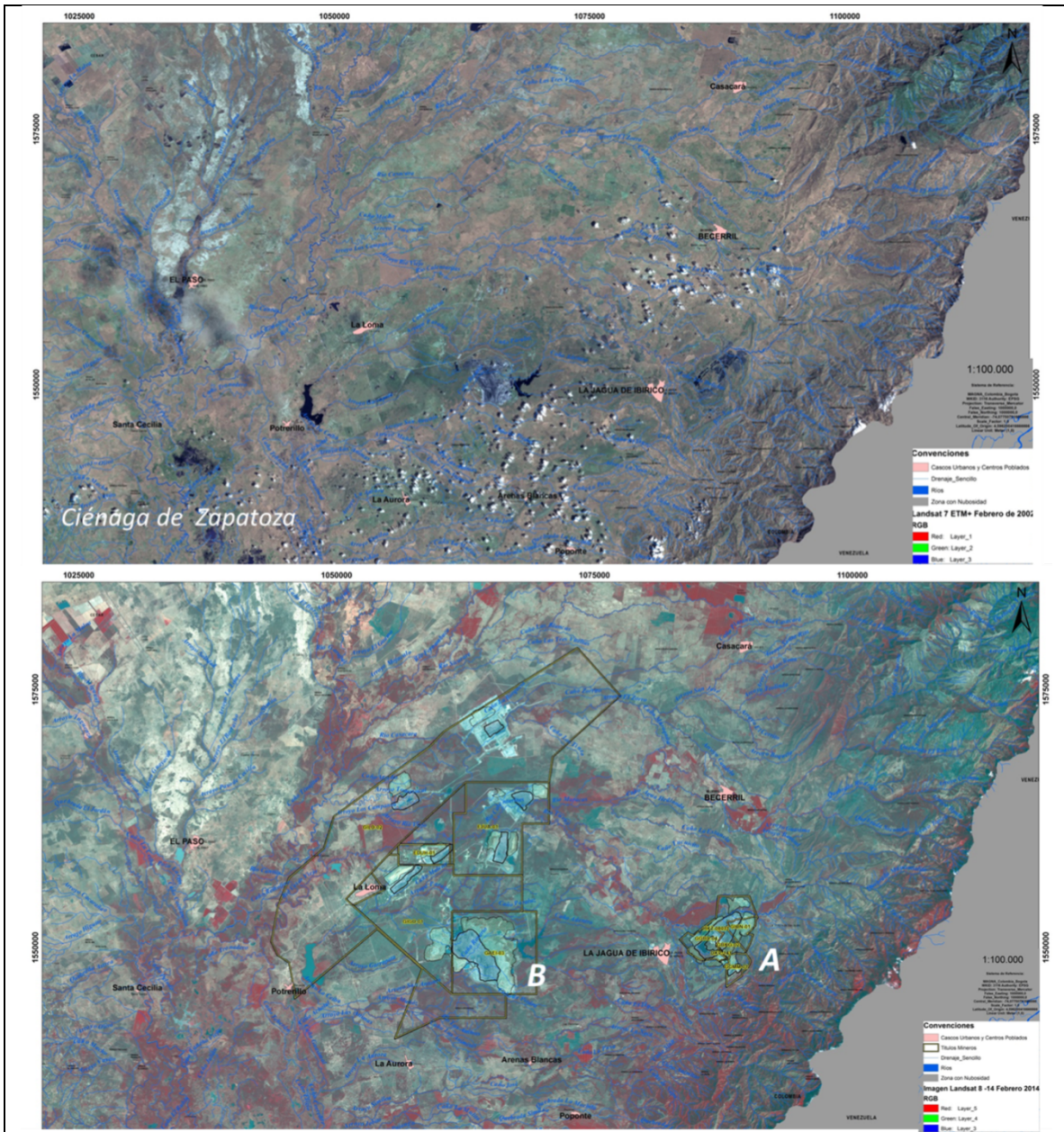


Figura 1. Localización y avance de las minas de A: CDJ, Norcarbón y B: Pribbenow, en la provincia minera de La Jagua de Ibérico-La Loma, en el departamento del Cesar. Al oriente se observa la Serranía de Perijá y al occidente la Ciénaga de Zapatoza, zonas de influencia de la minería de carbón. Imágenes satelitales Landsat, arriba de 2002 y abajo de 2014. Fuente: USGS y GLCF1.

<sup>1</sup> Imagen 2002, Fuente: Global Land Cover Facility - GLCF (<http://glcfapp.glc.fumd.edu:8080/esdi>) correspondiente a los Path/Row (008/53 y 008/54) de Landsat 7 ETM+ de Febrero de 2002, imagen fusionada MX + P, de 15 metros de pixel. Imagen 2014, Fuente: Servicio eológico de los Estados Unidos (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) correspondiente a los Path/Row (008/53 y 008/54) de Landsat 8 de Febrero de 2014, imagen fusionada MX + P, de 15 metros de pixel.

La literatura técnica internacional ha discutido los impactos negativos de la minería de carbón en los recursos hídricos por muchas décadas [por ejemplo, Lewis (1906); Drake (1931); Biesecker & George (1965), Wentz (1974), Moran & Wentz (1974)].

### **Procesos mineros y factores geoquímicos relacionados.**

El carbón en el Cesar está localizado relativamente cerca de la superficie de la tierra, por tanto es económicamente factible para las operaciones mineras usar *técnicas de minería de superficie* que excavan inmensas minas a cielo abierto, más bien que túneles subterráneos. En primer lugar, los suelos, la vegetación y los sedimentos no carboníferos superpuestos al carbón deben ser removidos usando equipo pesado mecanizado. Algunas veces los suelos orgánicos reales son separados de los otros sedimentos para ser usados posteriormente en la revegetación de zonas sensibles. Los sedimentos no carboníferos (roca estéril) son excavados usando equipo pesado y apilados en montones alrededor de las márgenes de la mina, formando pilas de roca estéril. La roca estéril también contiene algún carbón y esquistos ricos en materiales orgánicos, pero no suficiente carbón para ser rentable. Una vez que el carbón está expuesto, es fracturado con explosivos y transportado fuera de la mina usando enormes camiones o cintas transportadoras. Algunas veces el carbón puede ser removido de las minas usando grandes retroexcavadoras o dragas.

Estos procesos crean enormes minas, algunas veces de más de un kilómetro de longitud y casi igualmente un kilómetro de ancho, algunas veces con varios cientos de metros de profundidad. La mina Pribbenow-La Loma se ha expandido hasta aproximadamente 5.8 kilómetros de longitud, 2 kilómetros de ancho y una profundidad máxima de más de 300 metros. Estas minas son excavadas a menudo en rocas acuíferas; frecuentemente los mismos carbones contienen y transmiten agua. Por tanto, el agua subterránea tiende a filtrarse en las minas, formando lagos en el fondo. Para operar, las empresas sacan el agua de las minas, llevándola algunas veces a estanques de sedimentación y otras veces directamente a las corrientes locales, los humedales, etc.

Los carbones y los esquistos ricos en materiales orgánicos están en gran parte compuestos de restos de plantas, que naturalmente han acumulado concentraciones elevadas de la mayoría de oligoelementos en vida. Después de ser quemados, estos sedimentos ricos en materiales orgánicos acumulan más oligoelementos de las aguas subterráneas que migran hacia y alrededor de ellas a través del tiempo, actuando como “filtros” bioquímico-físicos.

Los procesos mineros parten el carbón en pedazos y lo exponen al aire, al agua y a las bacterias, lo cual genera reacciones bioquímicas que liberan los componentes carboníferos complejos (oligoelementos y elementos menores, nutrientes, compuestos orgánicos) en el medio ambiente cercano ---aguas, aire, sedimentos, etc. Las reacciones químicas dentro de las mezclas de agua de la

roca ocurren más fácil y rápidamente cuando las rocas son partidas en piezas más pequeñas, creando zonas de superficie más grandes sobre las cuales pueden interactuar los químicos naturales, el agua y las bacterias (y otros microbios) (Moran, 2007, 2012).

Por tanto, la roca carbonífera es expuesta al aire y al agua en numerosos asientos mineros: en las paredes de las minas a cielo abierto, en los trabajos subterráneos, en las pilas de roca estéril y en los cortes de carretera. Las reacciones químicas de la roca con el aire, el agua y las bacterias crean diferentes tipos de agua de filtración, dependiendo en gran parte de los componentes químicos en los carbones y las rocas / los sedimentos asociados. Donde los carbones contienen concentraciones significativas de minerales de sulfuro, como la pirita (sulfuro de hierro, oro de tontos), las aguas de filtración serán ácidas (pH a menudo entre 3 y 5, a veces más bajo). Aguas ácidas semejantes movilizan muchos de los otros componentes químicos en la roca, incluyendo numerosas sales, metales y constituyentes parecidos a metales, que pueden resultar tóxicos para los seres humanos y la vida acuática, especialmente los peces y anfibios.

Donde los carbones contienen bajas concentraciones de azufre —lo que es generalmente cierto en los carbones del Cesar ---las aguas se filtran de los carbones (provenientes de las paredes y los pisos de las minas) y la roca estéril es normalmente alcalina (pHs mayores de 7.0), debido a las altas concentraciones de otros minerales alcalinos como la calcita, el yeso, etc. Aguas carboníferas semejantes tienen a menudo pHs entre aproximadamente 7.0 y 8.8. Debido a que los minerales alcalinos comunes se disuelven a menudo más rápidamente que los minerales productores de ácido, las aguas liberadas de los carbones y de la roca estéril tienen a menudo pHs alcalinos, que pueden gradualmente, durante muchos años, volverse ácidos, como se ve en las aguas subterráneas del bajío Pribbenow-La Loma. Sin embargo, las aguas altamente alcalinas, similares a las aguas ácidas, también pueden liberar otros elementos menores contenidos en los carbones, especialmente elementos que se mueven como formas cargadas negativamente, tales como el aluminio, el arsénico, el antimonio, el cromo, el hierro, el manganeso, el molibdeno, el níquel, el selenio, el estroncio, el talio, el vanadio, el uranio, etc. Frecuentemente, cuando el pH se eleva por encima de aproximadamente 8.0 al 8.5, las concentraciones de metal-aniones mencionadas antes aumentan. Inclusive donde las aguas con un pH casi neutro reaccionan con materiales geológicos rotos, las concentraciones de sedimentos y constituyentes solubles aumentarán.

### **Calidad del agua subterránea: Patrones de cuenca.**

Las formaciones geológicas locales en el Cesar están compuestas de carbón interpenetrado y sedimentos asociados, los cuales generalmente contienen concentraciones significativas de carbonato de calcio y numerosas fuentes de sales que liberan azufre y cloruro. Las muestras de calidad del agua de cuencas sedimentarias similares, tienden a seguir un *patrón evolutivo químico*, con

aquellas aguas subterráneas localizadas en las márgenes de cuencas semejantes, tendiendo a ser relativamente altas en bicarbonato con concentraciones SDT relativamente bajas, pero esas concentraciones de carbonato, azufre y cloruro tienden a aumentar como lo hacen las SDT cuando las aguas subterráneas atraviesan corrientes de flujo más largas (Cherbotarev, 1955; Domenico, 1972). Uno esperaría las aguas subterráneas más al oeste, hacia las operaciones de Drummond, para exhibir patrones semejantes.

### **Uso del agua.**

La mayoría de minas a cielo abierto usa, consume y degrada químicamente tremendas cantidades de agua. Cuando una mina de carbón a cielo abierto es excavada, el pozo se convierte en un fregadero o sumidero, que recoge aguas subterráneas, junto con agua de lluvia y algunos flujos superficiales. Para llevar a cabo las operaciones mineras en el pozo, el agua debe ser bombeada y descargada, generalmente dentro de estanques de sedimentación o agua superficiales, etc. Este bombeo a largo plazo rebaja los niveles de aguas regionales y locales. Una gran cantidad de agua bombeada hacia la superficie se evapora en el aire —especialmente en zonas tropicales como el Cesar—o es consumida por la vegetación local. Mucha agua es usada para lavar vehículos, equipos y controlar el polvo en las carreteras de la mina. Alguna es consumida por los trabajadores y destinada a otras funciones mineras. Inevitablemente, la calidad de esta agua está degradada simplemente entrando en contacto con el carbón y otros elementos como la roca expuesta, los explosivos, los combustibles, los equipos, etc. Independientemente de cómo fue usada en las operaciones mineras, el agua adecuada no podrá ser más disponible o deseable para otros usos o para el sistema ecológico.

El agua es normalmente tratada legalmente como un recurso que puede ser removido, pero esta definición es claramente inadecuada en los sitios donde gran cantidad de agua es removida del sistema regional / local y también es degradada en la calidad.

**Impactos hídricos comunes en minas de carbón similares descritos en la literatura internacional.** Los *impactos más comunes* en los recursos hídricos en las zonas de minería de carbón a cielo abierto y a gran escala, a nivel mundial son:

-descensos en los niveles de aguas subterráneas debidos al bombeo de agua de las minas a cielo abierto. Esto puede causar que pozos y manantiales se sequen o requerir que los propietarios de los pozos los hagan más profundos. Cuando los manantiales dejan de fluir, el ganado y otros animales pueden quedarse sin fuentes de agua potable.

En zonas en las que el nivel de aguas subterráneas naturales está cerca de la superficie de la tierra ---como ocurre en gran parte del Cesar--- los descensos en los niveles del agua impactan a menudo negativamente la salud de los

humedales. Debido al hecho de que las aguas superficiales y subterráneas están generalmente interconectadas – hidráulicamente – los descensos en los niveles del agua pueden también reducir los flujos en corrientes y ríos.

- desviaciones de corrientes y ríos por fuera de sus cursos naturales.
- aumento de la competencia por el dominio del agua entre la minería, la agricultura, la ganadería, los servicios municipales y otros usuarios.
- la formación de inmensos pozos que contienen a menudo lagos de calidad variable. En zonas tropicales y semitropicales, lagos semejantes pueden actuar como lugares de cría para numerosas especies de insectos, algunas de las cuales pueden aumentar la incidencia de la malaria, el dengue, etc.
- degradación de la calidad del agua subterránea y superficial. El impacto más obvio es un aumento de las cargas de sedimentos traídos por las aguas superficiales regionales y locales. Sedimentos excesivos a menudo obstruyen drenajes, llenan represas, campos agrícolas y humedales y pueden causar el cambio de curso de los ríos. Cargas de sedimentos semejantes generalmente degradan las comunidades de plantas acuáticas, peces y organismos bentónicos (Biesecker & George, 1965; Cormier y otros, 2013; Dahrazma y otros, 2012; Dittman, Elizabeth K. & D.B. Buchwalter, 2010; Sams III y otros, 2000).

Las aguas de minería de carbón degradadas generalmente contienen concentraciones inaceptables de numerosos *constituyentes químicos* adicionalmente al exceso de sedimentos como sulfato, metales, nutrientes, etc. Tales impactos pueden requerir que las aguas potables sean tratadas activamente o pueden resultar en la destrucción de organismos y hábitats acuáticos. Los últimos “sumideros” para estos excesos de componentes y sedimentos químicos son generalmente los lagos, humedales y depósitos.

Las fuentes más significativas de contaminación del agua relacionada con la minería de carbón –si las aguas de drenaje son ácidas o alcalinas— provienen normalmente de la filtración de agua de las pilas de roca estéril y de las paredes y los pisos de las minas a cielo abierto. Adicionalmente, la liberación de residuos de explosivos, combustibles y polvo en el aire comúnmente degrada la calidad del agua. La degradación de la calidad del agua se agrava aún más en los climas calientes, en los que grandes cantidades de agua se evaporan en el aire (o son absorbidas por la vegetación), lo que causa un aumento a largo plazo en la salinidad de los suelos, de las aguas subterráneas poco profundas, de las aguas superficiales y posiblemente de los humedales.

- reducción de la vegetación y cambios en la topografía pueden a menudo agravar el daño causado por las aguas de escorrentía. Zonas semejantes son propensas al daño de erosión extrema a menos que sean mantenidas activamente, durante décadas o siglos, después de la finalización de las actividades mineras.

-las zonas que han albergado minería a cielo abierto resultan a menudo inadecuadas para la mayoría de los otros usos comerciales, posteriores a la minería.

**Fuentes de contaminación acuática en las operaciones de minería de carbón.** Las fuentes más comunes de contaminación del agua son:

- los drenajes contaminados (con ácidos, alcalinos, pH neutro) provenientes de las pilas de roca estéril, las reservas de carbón, las paredes de las minas o de los pozos, los servicios de lavado del carbón;
- los químicos usados en el procesamiento del carbón, es decir, floculantes;
- combustibles (diesel, gasolina), aceites, grasas; anticongelantes en sitios de clima frío;
- los residuos de explosivos (es decir, ANFO— nitrato de amonio – aceite de combustible);
- la polución bacteriológica y química proveniente de los servicios de tratamiento de aguas y alcantarillado, y laboratorios;
- los herbicidas, pesticidas y compuestos de deshielo de carreteras;
- el polvo proveniente de todas las operaciones y la escorrentía de las carreteras;
- las descargas provenientes de los servicios de lavado de vehículos;
- las descargas provenientes de vertederos y servicios de almacenamiento de residuos sólidos.

**Mediciones de la calidad del agua.**

Las discusiones más abajo mencionarán la calidad del agua degradada o contaminada. La medición más básica de cuánto material químico está *disuelto* en el agua es la Conductancia Específica (C.E.). La C.E. es una medida de la facilidad con que una corriente eléctrica se moverá a través del agua. Entre más grande sea la cantidad de material *disuelto* en el agua, más alta será la C. E., que es medida en unidades denominadas microsiemens por centímetro, pero abreviadas aquí a  $\mu\text{S}$ . Las *partículas* de sedimento en el agua no transportan carga eléctrica, por tanto las mediciones de C.E. no son afectadas por estas partículas. La C.E. es medida fácilmente en el campo usando un medidor portátil, lo que permite estimar las concentraciones de sólidos disueltos totales (SDT) que serán reportadas por el laboratorio. Mediciones más altas de C.E. indican una totalidad más alta de concentraciones de sólidos disueltos (SDT).

Una segunda medición básica de la calidad del agua mencionada abajo es el pH, que mide el grado de acidez o alcalinización del agua. Los ácidos comunes son el vinagre, el jugo de limón, o ácido carbónico, que es la fuente de las burbujas en las bebidas carbonatadas.

Las soluciones alcalinas comunes son el blanqueador casero o amoníaco. La escala del pH, medida en unidades pH, alcanza más generalmente de 0 a 14. Las soluciones con pHs por debajo de 7.0 son consideradas ácidas, aquellas por encima de 7.0 son progresivamente alcalinas. La mayoría de aguas naturales tiene un pH entre aproximadamente 6.5 y 8.5, pero ocurren numerosas excepciones por fuera de este alcance. Algunos ácidos muy fuertes (es decir,

ácidos clorhídricos o sulfúricos) pueden tener un pH menor de 1.5. Los estómagos de los mamíferos tienen a menudo pHs menores de 0, lo que significa pHs negativos. Una bebida de soda recién abierta tiene un pH de aproximadamente 2.5 a 3.0. Las soluciones alcalinas fuertes, como los limpiadores de amoníaco, pueden tener un pH de 12 o más. *Debido a que la escala de pH es una escala exponencial, una solución con un pH de 3 es en realidad diez veces tan ácida como una solución con un pH de 4, y cien veces tan ácida como una con un pH de 5.*

Está más allá del alcance de este informe discutir aspectos detallados de la química acuática. Esto es especialmente cierto para las aguas asociadas con carbones, ya que su química es más complicada por la presencia de numerosos compuestos orgánicos disueltos, lo que hace inusuales las relaciones de acidez-alcalinidad. Discusiones más completas de estos asuntos pueden ser encontradas en Hem (1985), Freeze & Cherry (1979), y Driscoll (1986). Moran (2011) presenta descripciones detalladas de procedimientos de muestreo y detalles analíticos útiles para la evaluación de la línea de base de la calidad del agua en una zona en la que los compuestos orgánicos pueden ser importantes, como ocurre en el Cesar.

### **Hallazgos generales**

#### **Procedimientos y redes de monitoreo inadecuados: Construcción, mantenimiento, monitoreo: Fases 1&2.**

Ninguna de las minas sometidas a una auditoría (CDJ, Norcarbón, Pribbenow-La Loma) tenía redes adecuadas de sitios de monitoreo de aguas superficiales y subterráneas para revelar impactos debidos a la filtración de las pilas de roca estéril, las reservas de mineral, las descargas de minas a cielo abierto y otros servicios mineros. Todas carecían de cantidades adecuadas de pozos y/o piezómetros para definir los patrones y las direcciones verticales y areales de los flujos de aguas subterráneas. Casi todos los archivos de aguas subterráneas carecían de datos sobre las profundidades totales de los pozos y piezómetros. La mayoría de los piezómetros mostró evidencias de una pobre construcción [es decir, carecían de cubiertas de superficie adecuadas y probablemente no habían sido correctamente desarrollados], de tal manera que la filtración ocurría desde varias zonas de la superficie y subsuperficie. La mayoría de los piezómetros también carecía de tapas o cubiertas adecuadas. Por lo tanto, muchos piezómetros mostraron evidencias de contaminación de la superficie (es decir, como lo mostraron las altas concentraciones de la totalidad de sólidos suspendidos, turbiedad y bacterias coliformes, todas irrazonables); alguna contaminación pareció deliberada.

Los datos empresariales faltaban en gran parte para los manantiales, pozos y aljibes en las regiones en los alrededores inmediatos de la propiedad de la mina. Por lo tanto, los impactos en estas zonas no pudieron ser verificados directamente.



Allí donde el equipo de la CGR fue capaz de obtener algunos datos de la calidad del agua subterránea históricos de la ANLA etc., estos datos resultaron poco claros en cuanto a cómo las muestras habían sido recolectadas, si las muestras habían sido filtradas o no, si los preservativos correctos habían sido agregados a las muestras (¿en el campo? ¿posteriormente?), o si las muestras habían sido analizadas en el laboratorio dentro de los tiempos de retención correctos. En todos los casos, a estos datos también les faltaron determinaciones para muchos de los constituyentes químicos más importantes y útiles relacionados con el sitio de una mina de carbón (es decir, carbón orgánico, amoníaco, arsénico, antimonio, cobre, molibdeno, selenio, uranio, alfa total y beta total, aceites y grasas, conductancia específica en el campo y el laboratorio, etc.). Frecuentemente, los límites de detección del laboratorio empleados fueron demasiado altos para detectar concentraciones de constituyentes adecuadas para la comparación con las guías y los estándares internacionales. Por lo tanto, simplemente reportaron N.D., no detectado, para muchos constituyentes. En muchos casos, los controles de rutina del control de calidad de las muestras, como comparar la conductancia en el campo con la totalidad de los sólidos disueltos, hacer balances de cationes y aniones o simples comparaciones de los resultados filtrados con los resultados no filtrados de la misma muestra, dieron errores inaceptables.

#### **Falta de datos fiables.**

Por lo tanto, muchos de los datos y mucha de la información disponibles para la CGR en los archivos reguladores del Gobierno fueron:

- De calidad inadecuada para permitir una interpretación estadística fiable;
- No organizados de una manera que permitiera comparaciones históricas fáciles entre los sitios, o de una manera útil para la supervisión de las entidades reguladoras;
- Allí donde estaban presentes, los datos del agua empresariales fueron en gran parte inadecuados para concluir que las actividades mineras cumplen con la licencia o los requisitos técnicos.

Casi no hubo datos disponibles sobre *la cantidad* de agua, incluyendo niveles de aguas subterráneas, pruebas de bombeo, etc.

Nota: cuando se estaba finalizando este informe de auditoría, le fue enviada a la CGR una copia electrónica de un documento de 969 páginas describiendo *modelos de computador* hidrológicos para la región de minería de carbón del Cesar (Corpocesar y la Universidad del Magdalena, 2010). Los contenidos de este documento no pudieron ser revisados como parte de este informe. Sin embargo, resulta claro que existen algunos datos hidrológicos regionales, pero nosotros (yo y la CGR) no hemos tenido la oportunidad de evaluar la extensión y calidad de estos datos, y no hay evidencia de que estos datos hayan sido integrados con datos del sitio de la mina específicos.



### **Automonitoreo y autoregulación / Falta de transparencia**

El equipo de la CGR descubrió una situación en la que estas empresas carboníferas esencialmente se automonitorean y autoregulan, y en la que no hay datos importantes disponibles para el público en general.

Durante las actividades de campo preliminares en la mina Pribbenow-La Loma en junio de 2012, el personal de Drummond le mostró al equipo de auditoría de la CGR una detallada Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) desarrollada en los años 80. Este documento no fue encontrado en los archivos de ANLA ni le fue suministrado a la CGR después de solicitar que le fuera suministrado en junio de 2012.

### **Falta de datos “económicamente independientes”.**

Casi todos los datos específicos del sitio sobre recursos hídricos habían sido recolectados por las mismas empresas mineras o por los consultores que ellas mismas habían pagado. Idealmente, las entidades reguladoras tendrían que recolectar datos ambientales e hídricos utilizando partes que sean técnica y económicamente independientes de las empresas carboníferas. Esta auditoría fue parcialmente un intento de recolectar datos semejantes.

### **Falta de vista técnica significativa y de supervisión por parte de los reguladores.**

Durante 2012-2014, la CGR revisó los archivos disponibles en todas las entidades gubernamentales colombianas importantes (Ministerio del Medio Ambiente, ANLA y Corpocesar) para todas las minas de carbón en el Cesar.

La revisión de estos archivos reveló pocos datos útiles, técnicamente fiables, relacionados con el agua, para estas minas. Los datos históricos inadecuados y limitados no les permiten a las entidades reguladoras o al público evaluar completamente los impactos importantes en las aguas, los suelos, la vida salvaje, las reservas de agua potable y la salud humana locales. Debido a la naturaleza inadecuada de las redes de monitoreo del agua y del medio ambiente, los datos inadecuados y la presencia de los numerosos errores técnicos que contienen, resultó obvio que estos materiales nunca han recibido una revisión técnicamente competente por alguna entidad reguladora.

El acceso a estos archivos fue difícil y demandó una cantidad irrazonable de tiempo, inclusive para la CGR. El acceso para el público en general parece imposible. En esencia, las entidades reguladoras han fallado en el ejercicio de la supervisión efectiva de la industria minera.

### **Falta de datos de línea de base disponibles para el público.**

Ninguno de los archivos gubernamentales contenía datos de empresas mineras que representaran condiciones de línea de base verdaderas, es decir, datos recolectados antes de que comenzaran las actuales actividades mineras. *Por lo tanto, el público y las entidades reguladoras no tienen datos iniciales fiables con*

*los cuales comparar las condiciones y los impactos actuales. Existen datos empresariales a largo plazo e inadecuados para demostrar que las condiciones de la calidad y cantidad del agua han o no han sido impactadas (es decir, descensos en los niveles de las aguas subterráneas regionales o locales; reducción o pérdida de flujos de manantiales; degradación de la calidad del agua).*

Las operaciones carboníferas en el Cesar son subsidiarias de empresas internacionales que tienen una amplia experiencia con la aplicación de estándares y guías internacionales, que requieren la recolección de datos de línea de base hídricos e hidrogeológicos detallados, para establecer las condiciones de la línea de base antes del comienzo de las operaciones. Las autoridades reguladoras internacionales han exigido durante décadas la recolección de datos de línea de base semejantes (es decir, niveles de aguas subterráneas, calidad del agua superficial y subterránea, ubicaciones y tasas de flujo de manantiales, etc. ). Los datos de línea de base fiables actúan como un estándar o criterio que sirve de referencia para poder medir los cambios futuros.

Resulta una práctica industrial común el que los estudios de la calidad del agua e hidrogeológicos sean realizados en todos los sitios mineros similares a gran escala, antes de que comiencen las operaciones y continuando a través de toda la vida de la mina. Información detallada semejante es necesaria para atraer a inversionistas antes de que un proyecto pueda comenzar. Este tipo de informe hidrogeológico integrado fue preparado para la zona de La Loma en 1983 (Brown, 1983), destinado para su inclusión en un estudio de factibilidad. La CGR tomó conciencia de este informe “de línea de base” solamente debido al hecho de que su autor original, Phil Brown, lo puso a mi (Moran) disposición en 2012. Es probable que informes similares hayan sido preparados para los sitios de Norcarbón y CDJ (y otras minas en el Cesar), pero ninguno estuvo disponible para la CGR en los archivos del Ministerio el Medio Ambiente, ANLA o Corpocesar.

### **Balances de aguas.**

Ninguno de los operadores de mina auditados había suministrado balances de aguas detallados para sus operaciones a las autoridades reguladoras. Más importante aún, habían fallado en suministrar los datos de cantidad de línea de base (medidos, no previstos) necesarios para construir balances de aguas semejantes. Datos semejantes son necesarios para evaluar los impactos en los otros usuarios y para calcular los costos de tales impactos, etc. Adicionalmente, estas operaciones mineras parecen ser instancias donde Corpocesar deja de cobrar por el uso del agua.

### **Precio del agua.**

En la mayoría de los países menos desarrollados, las empresas mineras no pagan nada o casi nada por el agua que usan en todas sus operaciones. Resulta

informativo anotar los precios pagados por varias categorías de usuarios del agua (ver Tabla 1):

**Tabla 1.** Costo del uso de agua superficial para diferentes sectores. Fuente: MAVDT.

CLASE DE USO	PROMEDIO TARIFA MES (\$/lps)		PROMEDIO TARIFA (\$/m <sup>3</sup> )	
	Min	Max	Min	Max
Doméstico	\$2,079	\$4,872	\$0.80	\$1.88
Industrial	\$2,391	\$5,665	\$0.92	\$2.19
Agropecuario	\$1,890	\$3,691	\$0.73	\$1.42
Minero	\$1,262	\$5,165	\$0.49	\$1.99
Recreativo	\$2,149	\$3,952	\$0.83	\$1.52
Piscícola	\$2,222	\$4,203	\$0.86	\$1.62
Acueducto	\$1,940	\$3,711	\$0.75	\$1.43
Generación de Energía	\$1,636	\$2,815	\$0.63	\$1.09
General Superficial	\$1,946	\$4,259	\$0.75	\$1.64
Agua de mar	\$74	\$128	\$0.03	\$0.05
Agua subterránea	\$4,017	\$6,609	\$1.55	\$2.55

Durante la revisión de los archivos reguladores por parte del equipo de auditoría de la CGR, resultó imposible descubrir cualquier indicación de que los precios cobrados por el uso del agua reflejan la escasez de agua existente en el Cesar. Los datos empresariales históricos, inadecuados y limitados, no les permiten a las entidades reguladoras o al público evaluar completamente los impactos importantes en las aguas, los suelos, la vida salvaje, las reservas de agua potable y la salud humana locales. *No obstante, la degradación de la calidad del agua y el posible descenso de los niveles del agua conllevarán cambios y limitaciones en los usos futuros de las aguas del Cesar a largo plazo. Algunas aguas ya no serán más aceptables para ciertos usos municipales, industriales, agrícolas, domésticos, etc. sin pagar por un tratamiento activo del agua o actividades de construcción adicionales (es decir, profundización de pozos). En esencia, esto transfiere los costos reales de estos impactos relacionados con la minería a las futuras generaciones.*

#### **Costos relacionados con los impactos.**

Actualmente aún no han sido realizados estudios dirigidos por el Gobierno para determinar los costos reales de la minería de carbón para la sociedad Colombiana en general, esfuerzos que incluyen costos razonables para el agua y la polución. Varios estudios recientes han mostrado que los costos sin financiación provenientes de la minería a menudo no generan suficientes

beneficios para cubrir su uso de los recursos naturales y los costos de polución (Epstein y otros (2011), Truecost (2013), Cardoso Diaz & Martínez-Alier (2013).

Más información sobre los costos sociales y ambientales de la minería de carbón en el Cesar pueden ser encontrados en Cardoso Diaz & Martínez-Alier (2013). Aspectos adicionales de tales costos ambientales están incluidos en Epstein y otros (2011) y Truecost (2013). Estos estudios muestran que las operaciones mineras a menudo no generan suficientes beneficios para cubrir los costos no financiados debidos al agotamiento de los recursos naturales (el agua) y los costos de la polución.

### **Degradación de la calidad del agua subterránea y superficial.**

Las instalaciones mineras y las actividades relacionadas con ellas en CDJ, Norcarbón y Pribbenow están generando impactos negativos en las aguas, los suelos, la flora y la fauna del Cesar, que no están siendo remediados por estas empresas. Las fuentes principales de contaminación del agua en todos los sitios sometidos a la auditoría fueron las pilas de roca estéril, las paredes y los pisos de las minas a cielo abierto, las reservas de carbón, los sistemas de drenaje inadecuados, la filtración de los estanques de sedimentos y las aguas de escorrentía provenientes de las carreteras de la mina y otras instalaciones. También es posible que el polvo transportado por el aire contribuya a la degradación de la calidad del agua.

*Sin la corrección de estas deficiencias, estos impactos y costos sin financiación serán simplemente pasados a las futuras generaciones en el Cesar y la República.*

### **Mal uso del término “estériles” para la roca de deshecho.**

La industria minera del carbón en Colombia frecuentemente alega que no genera impactos ambientales significativos. Cuando se le dijo que esta mina producía contaminación ambiental, el gerente de proyecto de una de las minas de carbón en el Cesar respondió: “No estamos dejándoles contaminación; lo que les estamos dejando son los estériles que siempre han estado ahí.”

Usar incluso la palabra española ‘estériles’ para describir la roca de deshecho, perpetúa la visión engañosa e incorrecta de que tales desechos son materiales estériles o sin contenido, como lo implica la palabra literalmente. Se ha sabido que los drenajes contaminados de las pilas de roca estéril de carbón son una de las principales fuentes de contaminación del agua en los sitios mineros por cientos de años. Solamente se necesita revisar los contenidos químicos de las muestras de roca estéril y agua en las tablas y los apéndices siguientes para ver que esta roca estéril produce drenaje contaminado.

Los análisis de muestras de agua y material geológico recolectadas por el equipo de la CGR en junio de 2013 demuestran que las instalaciones mineras carboníferas de CDJ y Norcarbón (pilas de roca estéril, drenaje de pozos,

carreteras, instalaciones mineras, etc.) son las mayores fuentes de sedimentos suspendidos y constituyentes químicos que están degradando la calidad del agua de las aguas subterráneas y superficiales regionales y locales. También es posible que estas instalaciones mineras estén causando también aumentos en la salinidad de los suelos locales y que puedan estar llevando a una acumulación de constituyentes químicos potencialmente perjudiciales en los humedales regionales. Sin embargo, debido a que ni las empresas mineras ni las entidades reguladoras importantes han recolectado datos de línea de base importantes (calidad del agua, cantidad, niveles del agua, etc.), no resulta posible definir precisamente estos impactos.

### **La cantidad de agua: Datos empresariales: Fases 1&2.**

Ambas regiones auditadas están sujetas a extremas variaciones en la pluviosidad entre las estaciones húmeda y seca, pero en general, tremendas cantidades de agua se pierden mediante la evapotranspiración, la combinación de evaporación de agua en el aire debida a las altas temperaturas del aire, los altos ángulos solares y la captación de agua por la vegetación. Por lo tanto, existe una competencia extrema por las aguas superficiales y subterráneas disponibles, entre la industria minera, los usuarios importantes de la agricultura y la ganadería y los municipios. Cualquier cantidad de agua que quede es utilizada por varias formas de vida salvaje, especialmente en los extensos humedales cercanos.

A pesar de la importancia de los recursos hídricos, el equipo de la CGR no pudo encontrar *datos detallados—medidos en el tiempo, no previstos—* en los volúmenes de las aguas superficiales y subterráneas disponibles sobre y alrededor de los sitios mineros. Adicionalmente, este equipo no pudo obtener datos detallados sobre los niveles de las aguas, los mapas freáticos, los volúmenes de agua bombeados de los pozos de las minas, los resultados de las pruebas de bombeo o los balances de aguas detallados mostrando los volúmenes utilizados y descargados por estas empresas. La CGR hizo búsquedas extensivas en los archivos disponibles del Ministerio del Medio Ambiente, ANLA, Corpocesar y, posteriormente, en los archivos de las empresas mineras. No fueron localizados ni puestos a disposición de la CGR datos adecuados sobre los volúmenes y usos de las aguas mineras.

Para la mayoría de los piezómetros de las minas, no estuvieron disponibles datos sobre la profundidad total, los intervalos escaneados / abiertos o datos de terminación y desarrollo.

Para obtener algunos datos específicos de los sitios sobre los volúmenes de agua disponibles, el equipo de la CGR efectuó las siguientes tareas durante esta auditoría:

- Fueron hechas mediciones del nivel del agua, donde fue posible, en pozos y piezómetros;

- Fueron hechas mediciones / estimativos del flujo de manantiales y descargas de bombeo de los pozos;
- Flujos de corriente en 20 lugares de aguas superficiales fueron medidos por los miembros del equipo del Acueducto - IDEAM (ver Anexos 1 y 2).

Resulta claro que estos datos de la cantidad de agua serían mucho más útiles para los reguladores si fueran combinados con datos históricos de los mismos lugares, organizados de manera algo coherente por las empresas o los reguladores.

Como tal, nos hacen falta los datos detallados necesarios para establecer definitivamente si los niveles de las aguas subterráneas han descendido a través del tiempo, debido a la deshidratación minera durante muchos años. Igualmente, nos hacen falta datos cuantitativos históricos adecuados para mostrar que los niveles del agua pueden haberse elevado en zonas de pilas de roca estéril o donde las descargas mineras han ocurrido en la superficie. Claramente, las empresas han fallado en suministrar los datos históricos necesarios para estas categorías de la cantidad de agua, y las entidades reguladoras apropiadas han fallado en hacer cumplir las regulaciones que exigen que tales datos sean suministrados de manera oportuna y adecuada.

Son los **datos de agua básicos** los que hacen falta y son necesarios (por ejemplo, los niveles de agua en los piezómetros y pozos a través del tiempo; datos de pruebas de bombeo a largo plazo; mediciones de flujos; inspecciones de manantiales y filtraciones; etc.). Estas deficiencias *no pueden ser resanadas de manera fiable creando simulacros / modelos de computador ---especialmente si no están disponibles datos de base fiables y extensos.*

Los agricultores locales y otros usuarios del agua locales se han quejado de los descensos en los niveles del agua en sus pozos desde que comenzaron las actividades mineras. En este momento, la CGR no puede confirmar que estos descensos hayan ocurrido dentro de la zona de la fase 1. *Existen algunos datos históricos sobre el nivel del agua subterránea dentro de la zona de la fase 2, que indican que los niveles han disminuido en los últimos 30 años, como se discutirá más adelante.*

### **Interconexiones de aguas subterráneas y superficiales: Auditoría de las fases 1 & 2.**

En las discusiones reproducidas más abajo, deberá recordarse que en tales marcos geológicos, las aguas superficiales están invariablemente interconectadas con las aguas subterráneas cercanas a la superficie mediante la conexión directa de los sedimentos fluviales con los sedimentos más profundos. Cuando las minas a cielo abierto construidas en tales sistemas hidrogeológicos interconectados son bombeadas (deshidratadas) a tasas altas por largos periodos de tiempo, las aguas a menudo interactúan como un sistema

interconectado, mostrando evidencia de filtración entre las zonas acuíferas y las aguas superficiales.

Adicionalmente, debido a que las minas de la fase 1 están cerca del pie de las escarpadas montañas de la Serranía de Perijá —especialmente la mina Norcarbón— resulta común tener las aguas superficiales en conexión hidráulica con las aguas subterráneas mediante vías de falla y fractura (estructuras y fracturas geológicas naturales causadas por las voladuras). La transmisión de agua a través de estas vías es intensificada cuando las aguas subterráneas son bombeadas activamente de las minas o las canteras de producción. El equipo de la CGR anotó numerosas fallas y fracturas en las paredes de la mina Norcarbón, como mínimo. Adicionalmente, las imágenes satelitales de la región indican la presencia de numerosas fallas y fracturas, especialmente más cerca de la Serranía de Perijá. [Las imágenes satelitales también indican que muchas vías de drenaje en la zona auditada están claramente controladas por estructuras geológicas de la subsuperficie —fracturas y fallas.] Perforaciones de exploración, piezómetros, túneles en la subsuperficie, etc., también interconectan las zonas acuíferas superficiales y subsuperficiales en la mayoría de sitios mineros similares.

Por lo tanto, en la mayoría de las instalaciones mineras similares, cuando los pozos / piezómetros de monitoreo de aguas subterráneas han sido correctamente colocados en gradiente descendente de las pilas de roca estéril, las minas a cielo abierto y las otras instalaciones mineras, ellos indican la presencia de filtración y de cambios de la calidad del agua causados por estas instalaciones. Adicionalmente, cuando estas filtraciones ocurren cerca de corrientes de agua, ríos o manantiales, la calidad del agua superficial refleja las afluencias de tal filtración.

Debido a que las redes de monitoreo de aguas subterráneas en todas las minas auditadas (CDJ, Norcarbón, Pribbenow) están tan inadecuadamente diseñadas y construidas, la mayoría de datos derivados de los piezómetros / pozos de las empresas no son suficientes para revelar la contaminación de aguas subterráneas o patrones de flujo. Por lo tanto, los impactos en las aguas subterráneas superficiales son inferidos a menudo de los datos de la calidad de las aguas superficiales cercanas a estas instalaciones.

### **Desviaciones de los ríos: Impactos.**

Numerosos propietarios de tierras locales se quejaron de los impactos negativos en sus tierras de la desviación de ríos corriente arriba de sus propiedades, hecha por las empresas mineras. Estos impactos incluyeron: daños a sus campos por las cargas de sedimentos aumentadas; destrucción de campos, cultivos, etc.; pérdida del acceso al agua superficial. La evidencia de tales desviaciones puede ser vista en fotos aéreas e imágenes satelitales.

### **Uso de floculantes.**

El uso de floculantes y estanques de sedimentos reduce las cargas de sedimentos y algunos químicos disueltos en las aguas superficiales, pero no se trata de un sofisticado tratamiento químico del agua. La adición de químicos floculantes a las aguas que han sido descargadas causa la agregación de partículas de sedimentos y de sus componentes menores anexados (por ejemplo, metales y elementos metaloides), formando partículas más grandes, cuya mayoría se asienta en el fondo de los estanques de sedimentación, ríos, etc. ---de manera que estos componentes a menudo no serían detectados en los análisis del agua. Sin embargo, simplemente transfiere algunos de los contaminantes de la columna de agua a los sedimentos del fondo, pero a largo plazo, estos sedimentos son transportados corriente abajo, acumulándose en campos, lagos, depósitos, humedales, etc., donde pueden ser consumidos por los peces, los organismos bénticos, etc., y aposentarse en el ecosistema general.

Drummond ha estado agregando 2 compuestos de floculantes diferentes a sus descargas mineras, probablemente en los estanques de sedimentación: Floergel FL 156 (SNF) y CLAREX 145 (EXRO). Ambos están compuestos de una mezcla de aluminio polihidroxiclорuro y varias aminas complejas. El SNF incrementaría las concentraciones de nitrato, nitrita y amoníaco y puede ser tóxico para varios organismos, especialmente los peces. Las hojas de datos para ambos floculantes los describen como peligrosos para la salud de las plantas, los animales y los seres humanos, y como productores de soluciones ácidas cuando son diluídos (enlaces).

### **Químicos para el lavado del carbón / Impactos agudos versus impactos crónicos.**

Durante las operaciones carboníferas a menudo se lava el carbón usando una mezcla de agua con otros químicos. Aunque el equipo de auditoría no descubrió información que indique que tales químicos son agregados en ninguna de las operaciones mineras auditadas, parece prudente controlar la presencia de tales compuestos en futuras auditorías, tanto en los sitios de las minas de carbón como en las instalaciones de carga de carbón, como en el Puerto de Santa Marta.

Recientemente en West Virginia, Estados Unidos, un tanque de almacenamiento de químicos tóxicos para lavar el carbón de impurezas, se rompió liberando el químico 4-Metilciclohexano Metanol (MCHM) en los ríos locales y las reservas de agua para uso público. Esto produjo impactos agudos tales como la muerte de peces y muchos ciudadanos locales se enfermaron. Sin embargo, resulta que este mismo tanque había estado filtrando lentamente durante muchos meses, antes de la grave liberación de químicos. La filtración poco visible y lenta es el impacto a largo plazo más común que causa rutinariamente la contaminación del agua en los sitios mineros, pero que es a menudo pasado por alto por las



entidades reguladoras y el público en general. Detalles de este caso se pueden ver en:

<http://readersupportednews.org/news-section2/312-16/21430-west-virginia-declares-state-of-emergency-after-coal-chemical-contaminates-drinking-water>

<http://readersupportednews.org/news-section2/312-16/21649-behind-west-virginias-massive-chemical-spill-a-history-of-poverty-and-pollution>

### **Fortalecimiento de las guías y los estándares de la calidad del agua.**

Colombia tiene numerosas regulaciones relacionadas con el medio ambiente y el agua proveniente de la minería de carbón, pero poco cumplimiento real de ellas por parte de las entidades correspondientes. Los hallazgos de auditoría revelan la necesidad de fortalecer las guías y los estándares de la calidad del agua en Colombia, relacionadas con la minería de carbón y otros usos —*así como su cumplimiento*. Estas guías y estos estándares deberían ser actualizados a un nivel comparable con aquellos existentes en la Unión Europea, Estados Unidos y Canadá.

### **Toxicidad acumulativa.**

En el futuro muestreo de auditoría en sitios carboníferos (y en otras minas de metal), las autoridades reguladoras colombianas deberían considerar el monitoreo de la toxicidad en general en los organismos acuáticos. La recolección de muestras de Toxicidad Efluente Total (TET) (EPA Estados Unidos, 2004) suministraría un método útil para evaluar la toxicidad total en los organismos acuáticos causada por la suma de todos los componentes químicos en las aguas analizadas. Los resultados de la TET les permiten a los reguladores determinar si determinadas aguas (y su composición química) resultan tóxicas para especies acuáticas específicas. Tales pruebas no identifican los componentes tóxicos específicos, sino que se enfocan en la toxicidad del agua total.

### **Laboratorios públicos.**

Las capacidades del laboratorio de la Empresa de Acueducto de Bogotá (EAB) necesitan ser mejoradas para permitir el análisis de constituyentes radioactivos naturales (por ejemplo, uranio, radio, torio, alfa total y beta total, etc.), que están a menudo presentes en los carbones y el mineral de oro / plata y en sus desechos. Igualmente, las capacidades de la EAB para el análisis de compuestos orgánicos complejos necesitan ser mejoradas. Actualmente, el laboratorio de la EAB no cuenta con estas capacidades analíticas.

### **Hallazgos técnicos detallados.**

#### **Primera fase: CDJ & Norcarbón.**

#### **Rocas, sedimentos, carbones ---Fuentes sólidas de contaminantes.**

Cuarenta (40) muestras de materiales geológicos (es decir, carbón y sedimentos asociados provenientes de las paredes y los pisos de las minas; materiales de

roca estéril; sedimentos de corriente; lodos y limos de procesos) fueron recolectadas en las instalaciones de CDJ y Norcarbón. Debido a los fondos limitados disponibles para los análisis de laboratorio, solamente 9 de estas muestras pudieron ser analizadas por la Empresa de Acueducto de Bogotá (EAB), el laboratorio oficial de la autoridad de control de aguas de la ciudad de Bogotá. [Distribución de análisis de muestras sólidas: sedimentos de corriente (1); carbón y sedimentos asociados provenientes de las paredes de las minas (4); y muestras de roca estéril provenientes de las superficies y profundidades seleccionadas (4)]. Los análisis químicos de estas muestras son presentados en el Anexo 1, Figura 1-1 y Tabla 1-2. Las concentraciones son reportadas como partes por millón (ppm), lo que equivale a mg / kg.

Todas (o casi la mayoría de) las muestras de carbón y roca estéril recolectadas tanto en La Jagua como en Norcarbón contenían elevadas concentraciones de numerosos metales y metaloides, como: antimonio\*, arsénico\*, cadmio\*, cobre\*, cromo\*, mercurio\*, molibdeno\*, níquel\*, plata, plomo, selenio\*, plata\*, talio\*, estaño\*, vanadio, zinc\*. La mayoría de estas muestras sólidas también contenían concentraciones elevadas de cobalto. Aquellos constituyentes conteniendo el símbolo \* estuvieron presentes en concentraciones altas, cuando fueron comparados con el promedio de las abundancias de la corteza de roca (Rose, Hawkes & Webb, 1979). Estas muestras sólidas también contenían concentraciones significativas de aluminio, bario, berilio\*, boro, calcio, fluoruro, hierro, litio, magnesio, manganeso, potasio, sílice, sodio, sulfato, azufre, que se espera que estén contenidos en las muestras, ya que estos constituyentes son comunes en carbones y sedimentos asociados.

Muchos carbones a nivel mundial también contienen concentraciones elevadas de uranio y otros elementos naturalmente radioactivos, pero el laboratorio de la auditoría fue incapaz de establecer tales determinaciones.

Varios de estos constituyentes químicos son tóxicos para los seres humanos, los animales, los organismos acuáticos, las plantas, etc. cuando están presentes en concentraciones altas en las aguas, los alimentos o el medio ambiente —como se discute más abajo. Otros constituyentes encontrados en estas muestras de roca estéril y carbón (es decir, cloruro, fluoruro, sulfato, carbonato / bicarbonato, sodio, calcio, magnesio, potasio) son constituyentes solubles que incrementan la dureza y salinidad generales de aguas y suelos, haciéndolos a menudo inadecuados para sus usos actuales. Estas muestras también contenían concentraciones significativas de *azufre total y carbono orgánico*. Los carbones de la región del Cesar son reportados como teniendo generalmente contenidos de azufre bajos, con un promedio de contenido de azufre total de 0.72 % (INGEOMINAS, 2004), que resulta consecuente con los pHs alcalinos o casi neutrales generales de las aguas superficiales y subterráneas de la zona de estudio. Sin embargo, los datos suministrados por el personal de la mina en La Jagua (datos de CDJ, junio 27 de 2013), muestran que las varias vetas de carbón en CDJ tenían concentraciones de azufre totales que alcanzaban entre el

0.39 y el 3.92%, y las 21 muestras tenían un promedio de 1.07%. *Algunas minas de metal de roca dura generan drenajes ácidos en los que los porcentajes de roca estéril son tan bajos como 0.2% (Departamento del Interior, Estados Unidos, 1995 & 1996).*

Una de las muestras de carbón a cielo abierto tenía una concentración de azufre total de 279 mg / kg, que es relativamente alta. *Claramente, algunas porciones de carbones y roca estéril de Norcarbón tienen concentraciones de azufre capaces de generar drenajes contaminados ácidos, como quedó demostrado por los datos de calidad del agua mencionados más abajo.*

### **Calidad del agua.**

Durante la fase 1 de la auditoría, 31 muestras de aguas subterráneas y superficiales fueron recolectadas y analizadas por el laboratorio del Acueducto. Todas las muestras de la CGR fueron conservadas en el campo y transportadas inmediatamente, al final del día, al laboratorio del Acueducto de Bogotá. Las muestras *no fueron filtradas en el campo*, ya que intentamos interpretar la calidad del agua real presente en las minas y en las aguas disponibles para los usos locales. La mayoría de las familias que usan aljibes privados o manantiales y todas las plantaciones, el ganado, la vida salvaje, los peces y la vegetación, etc. *usan y consumen agua no filtrada.*

### **Datos de la calidad del agua subterránea provenientes de la auditoría de la CGR.**

El equipo de la CGR recolectó *8 muestras de agua subterránea* que fueron analizadas por el laboratorio del Acueducto de Bogotá (ver Anexo 1, Figura 1-1 y Tabla 1-3). Estas incluyeron 6 muestras provenientes de la mina CDJ (4-piezómetros y 2-manantiales), un piezómetro en la mina Norcarbon y un manantial, que pueden ser consideradas una muestra desde arriba de los impactos de las minas.

Adicionalmente a las determinaciones en el campo de la temperatura del agua, la conductancia específica y el pH hechas en todos los sitios donde fueron recolectadas las muestras, mediciones de campo similares fueron hechas en varios sitios de aguas subterráneas adicionales (piezómetros, pozos, manantiales); 8 dentro de la propiedad de la CDJ, 2 dentro de la mina Norcarbón, 1 dentro de una plantación de palma cercana (GM3) y 3 pozos, que pueden ser consideradas como generalmente indicativas de la calidad del agua subterránea “no impactada” para ambas minas (GA2, GA3, GA4).

Normalmente, los sitios de aguas subterráneas impactados por las actividades mineras están localizados en gradiente ascendente de estas instalaciones (relacionados con las vías de flujo de aguas subterráneas). Por lo tanto, basados en estos datos de auditoría de la fase 1 limitados, los sitios monitoreados que reflejan más adecuadamente la calidad del agua subterránea “natural” no impactada por las actividades mineras, son: GM1, GM-5, GP2, GA2, GA3, GA4.

La CGR solamente recolectó muestras de los dos lugares de manantiales en GM1 y GM5. *Todos estos sitios tuvieron pHs algo ácidos o ligeramente ácidos, con uno neutro, pH = 7. Estos mismos sitios también tuvieron mediciones de C.E. de campo bajas, indicando concentraciones bajas de sólidos disueltos totales (SDT).*

	<u>pH (en el campo)</u>	<u>S.C. (en el campo campo) <math>\mu</math>S</u>	<u>SDT(mg/L)</u>
GM1	6.6	325	228
GM5	5.3	52	18.4
GP2	7.0	277	
GA2	6.2	274	
GA3	5.1	68	
GA4	5.1	351	

Las dos muestras que fueron analizadas (GM1 & 5) tuvieron pHs bajos, concentraciones de SDT bajas, concentraciones de alcalinidad total altas, con aguas predominantemente ricas en carbonato y calcio. GM1 también tuvo una concentración de sulfato baja pero significativa.

Dado el hecho de que estas 2 muestras fueron recolectadas cerca de las márgenes de la cuenca sedimentaria al pie de la Serranía de Perijá, los resultados del laboratorio para los iones mayores son los esperados. [Para GM5, el valor de C.E. del laboratorio de 620  $\mu$ S (ver Anexo 1) es obviamente incorrecto, ya que la *C.E. en el campo* es consecuente con los 18.4 mg/L. de SDT reportados por el laboratorio]

Es posible que las aguas subterráneas de las estaciones GP9, 10, 11 y 12 puedan también representar aguas en gran parte no impactadas por las actividades mineras, debido a sus bajos valores de C.E. Sin embargo, dado el hecho de que ellas parecen estar en gradiente descendiente de las instalaciones de las minas, y de que los dos piezómetros muestreados, GP10 y GP12, contuvieron ambos altas concentraciones inusuales de sólidos suspendidos, parece que éstos han sido impactados por las actividades mineras o que no han sido construidos y desarrollados correctamente.

Por lo tanto, todas las otras estaciones de muestreo de aguas subterráneas muestreadas por la CGR parecen haber sido contaminadas por las actividades y los desechos de las minas o tener otras fallas técnicas que las hacen inservibles como fuentes de datos fiables. Una excepción puede ser GP1, que parece estar en gradiente ascendente de todas las instalaciones mineras, pero ninguna muestra fue recolectada en este sitio. GP1 tuvo una C.E. en el campo de 1396  $\mu$ S, de manera que puede estar recibiendo descargas de otras fuentes, posiblemente desechos domésticos del pueblo cercano.

Como se ha afirmado antes, las ubicaciones y la calidad de la construcción / del mantenimiento de los piezómetros en las propiedades de la mina son totalmente inadecuadas para evaluar verdaderamente la calidad del agua subterránea y los impactos locales. Los datos de campo y de laboratorio y las observaciones de

campo revelan algunas decisiones inadecuadas (revelar menos que) tomadas por las empresas en la ubicación, la construcción y el mantenimiento de estos piezómetros.

Los piezómetros en las propiedades de la mina han sido contaminados en su mayoría por las actividades mineras, predominantemente por las descargas de las pilas de roca estéril y de las minas de carbón, pero también por la pobre construcción de los piezómetros, la falta de tapas de superficie y el pobre mantenimiento. Valores elevados de C.E. son la evidencia más obvia de la contaminación relacionada con las actividades mineras. Recordemos que los valores de C.E. para los manantiales y pozos “no impactados”, descritos antes, alcanzan de 52 a 351 $\mu$ S. Los piezómetros GP6 y GP8 tuvieron mediciones de C.E. de 2690 (en el campo) y 1735  $\mu$ S (en el laboratorio), respectivamente. Los otros piezómetros de la mina tuvieron todas concentraciones extremadamente elevadas de turbiedad y SST, indicando contaminación por desechos mineros o por la pobre construcción y el pobre mantenimiento de los piezómetros (incluyendo un pobre desarrollo).

Algunas muestras recolectadas por la CGR de agua subterránea (y de drenaje proveniente de la roca estéril y de la mina) tuvieron concentraciones significativas de acidez (en el laboratorio), a pesar de tener pHs (en el campo) alcalinos o casi neutros. Esto significa que estas aguas sean probablemente corrosivas cuando entran en contacto con metales y tenderían a disolver componentes solubles cuando entran en contacto con sedimentos. Mucha de esta acidez es probablemente debida a formas de carbono, azufre, hierro (conversión de ferrosos a hierro férrico por el oxígeno) y ácidos orgánicos, que no son medidos fácilmente por pH (Hem, 1985). La muestra de manantial no impactada, GM1, no muestra una acidez detectable.

Cuando fueron comparadas con la calidad del agua de los manantiales y pozos “no impactados”, estas aguas subterráneas impactadas tuvieron generalmente concentraciones mucho más altas de toda clase de constituyentes mayores, menores y rastreables (es decir, alcalinidad total, dureza, bicarbonato, sulfato, cloruro, aluminio, hierro, litio, manganeso, zinc, algunos nutrientes, carbono orgánico) y estas aguas tuvieron concentraciones detectables de numerosos constituyentes que no estuvieron presentes en las aguas subterráneas no impactadas (es decir, arsénico, antimonio, cadmio, cromo, cobalto, cobre, plomo, níquel).

Todos los piezómetros muestreados por la CGR mostraron evidencia de contaminación por bacterias coliformes, algunas veces una contaminación extrema ---más evidencia de que estos piezómetros no han sido adecuadamente construidos y mantenidos. Debido a la pobre construcción y al pobre mantenimiento de los piezómetros, las aguas superficiales son capaces de filtrarse al exterior de las carcasas plásticas, mezclándose con las aguas subterráneas.

*Las mediciones de campo y los datos de laboratorio de la auditoría de la CGR muestran claramente que varias instalaciones mineras, especialmente los drenajes provenientes de las pilas de roca estéril y los pozos de las minas de carbón, son las mayores fuentes de contaminantes entrando en las aguas subterráneas en esta zona.*

**Calidad del agua de los pozos.**

Las aguas en los lagos formados por los pozos de las minas a cielo abierto, son generalmente mezclas de aguas provenientes de varias fuentes: agua subterránea, agua superficial y pluviosidad. Aquí han sido mostradas en Anexo 1 (Tabla 1-2) con denominaciones de agua superficial (es decir, SuT1, SuT13). A través del tiempo, la evaporación y las reacciones biogeoquímicas incrementan las concentraciones de muchos de los componentes químicos solubles en estas aguas de lagos mineros. *Estas aguas de pozos contienen concentraciones aumentadas de casi todos los constituyentes químicos que fueron determinados por el laboratorio del Acueducto cuando fueron comparadas con las aguas subterráneas no impactadas.*

*Todas estas tres muestras de agua de pozos contuvieron pHs alcalinos (mayores de 7.0) y mediciones de C.E. extremadamente elevadas. Sin embargo, resulta claro de las mediciones de campo hechas en varios sitios cercanos, que porciones de la filtración de agua subterránea en estos pozos son ácidas. Los datos siguientes muestran comparaciones importantes:*

	<u>pH (en el campo)</u>	<u>S.C.(en el campo) <math>\mu</math>S</u>	
SuT1	7.3	3160	CDJ: Pozo Norte
SuT13	7.5-7.7	1800	CDJ: Pozo Sur
SuT19	7.4	1615	Norcarbón: Pozo principal
SuT14	3.6	2110	CDJ Sur, descarga
SuT16	2.3	2130	Lago cercano al pozo de Norcarbón
SuT24	2.6	2200	Viejo pozo pequeño cercano al pozo principal de Norcarbón

La mayoría de estas muestras de agua de pozos tienen concentraciones extremadamente elevadas de los siguientes elementos, como mínimo: SDT, sedimentos suspendidos (SST), turbiedad, dureza, alcalinidad total, calcio, magnesio, sodio, bicarbonato, sulfato, aluminio, cobalto, hierro, litio, manganeso, molibdeno, níquel, plata, selenio, talio, zinc, arsénico, boro, nitrato, nitrógeno Kjeldahl, amoníaco, azufre y carbono orgánico.

Varias *muestras de agua* tuvieron concentraciones de azufre totales mayores de 0.4 mg / L, lo que está normalmente por debajo de la detección analítica en la mayoría de las aguas naturales. Las elevadas concentraciones de sulfato en las aguas regionales y locales, son probablemente liberadas directamente de los carbones y los sedimentos asociados, pero también pueden ser el resultado de

la oxidación de sulfuro a sulfato. El desgaste de los carbones y los sedimentos orgánicos ricos asociados es probablemente la fuente de las elevadas concentraciones de agua de carbono orgánico, nitrógeno Kjeldahl y algunas de las concentraciones moderadamente elevadas de nitrato y fósforo.

En la mina CDJ, se le dijo al equipo de la CGR que el Pozo Sur no había sido explotado en 10 años y que contenía solamente agua de lluvia y aguas superficiales corriente arriba que habían sido almacenadas en el lago del Pozo Sur. Posteriormente supimos que el agua del Pozo Norte, activamente explotado, era en realidad bombeada en el Pozo Sur. La estación SuT9 representa aguas bombeadas del Pozo Sur en un drenaje cercano. El equipo de auditoría midió estas aguas descargadas, bombeadas del Pozo Sur en 165.8 litros por segundo (aproximadamente 2,631 gpm).

### **Calidad del agua de la roca estéril.**

La CGR recolectó muestras de drenajes de dos pilas de roca estéril (SuB2, SuR13) e hizo mediciones de drenajes de al menos tres otros (SuB1, SuB3, SuR34). Las mediciones de campo para estos sitios fueron las siguientes:

	<u>pH (en el campo)</u>	<u>C.E. (en el campo) <math>\mu</math>S</u>
SuB2	7.7	3120
SuR13	7.9	1080
SuB1	6.8	3220
SuB3	6.9	793
SuR34	8.0	2060

Las concentraciones de otros metales rastreables y menores y de elementos parecidos a metales fueron similares a aquellas encontradas en las aguas de los pozos. Todas estaban contaminadas cuando se les comparó con las aguas subterráneas no impactadas. Dado el hecho de que las muestras en la auditoría de la CGR fueron recolectadas durante un periodo de tiempo en un determinado número de sitios y que estas aguas subterráneas representan fuentes naturales y contaminadas muy diferentes, *resulta engañoso calcular estadísticas básicas (es decir, promedios) para la población combinada de estos sitios de aguas subterráneas.*

### **Calidad del agua superficial.**

Un total de 25 muestras de agua superficial fueron recolectadas por el equipo de la CGR y analizadas por el laboratorio del Acueducto [ríos y corrientes = 19; pozos = 3 (discutidos antes); drenaje de roca estéril = 1(SuB2); instalaciones mineras = 2].

Mediciones de campo adicionales de la temperatura del agua, del pH en el campo y de la C.E. fueron recogidas en otros sitios no muestreados (ver Anexo 1). Algunas incluyen drenajes superficiales de las paredes y los pisos de pozos activos y viejos, drenajes de pilas de roca estéril, drenajes de una reserva de carbón (SuA1) y drenaje de al menos una plantación de palma (SuR14).

*En general, estos datos de la calidad del agua superficial de la CGR indican que los drenajes principales, el río Tucuy, el río Sororia y sus tributarios cerca de las minas CDJ y Norcarbón, están siendo contaminados por las actividades y las instalaciones relacionadas con la minería. Las mayores fuentes de contaminantes son los drenajes de las pilas de roca estéril, los pozos a cielo abierto, las reservas de mineral y otros factores relacionados con la excavación minera, como las carreteras.*

### **Río Tucuy y los impactos mineros.**

La mayoría de mediciones de C.E. río arriba (en el campo) sobre el río Tucuy [SuR1,2,3 a través de SuR9] muestran que las aguas superficiales llevan bajas concentraciones de componentes solubles [C.E. = 240 a 270  $\mu$ S], con pHs alcalinos entre 7.9 y 8.6, y bajas concentraciones de SDT entre 166 y 180 mg / L. El caño Canime recibe drenaje minero proveniente de una descarga de pozo indirecta y de descargas de roca estéril en varias ubicaciones a lo largo de su curso. En la boca del caño Canime, justo arriba de su confluencia con el río Tucuy (SuR10), el agua contaminada aún tenía un pH de campo alcalino (8.1), pero la C.E. de campo (2420  $\mu$ S) fue aproximadamente diez veces más alta que en las estaciones del río Tucuy corriente arriba. La C.E. del drenaje de roca estéril en SuR13 fue de 1080  $\mu$ S, cuando entraba en el río Tucuy. La muestra de corriente abajo mayor sobre el río Tucuy (SuR16) tuvo una C.E. de campo de 415  $\mu$ S, comparada con los valores corriente arriba de 240 a 270  $\mu$ S.

La medición de los tiempos de concentración de constituyentes, la tasa de flujo o de descarga de corriente, permite un cálculo de la *carga* de cada constituyente químico que está siendo transportado corriente abajo, en kilogramos por hora o día. Drenajes mineros entrando en el sistema del río Tucuy obviamente aumentan las cargas de sedimentos transportados (medidas por SST), junto con las cargas de todos los iones mayores, especialmente calcio, magnesio y sodio, junto con la dureza, alcalinidad total, sulfato, numerosos metales y elementos parecidos a metales como aluminio, arsénico, bario, hierro, litio, manganeso, molibdeno, níquel, selenio plata, talio plata, vanadio, zinc, boro, amoníaco, nitratos, nitrógeno orgánico (Kjeldahl), carbono orgánico, fósforo, etc., medidos por concentraciones en la boca del caño Canime (SuR10).

Impactos similares son causados por actividades mineras dentro del río Santa Cruz y otros tributarios monitoreados del río Sororia.

### **Segunda Fase: Mina Pribbenow-La Loma (Drummond).**

La segunda fase de la auditoría de las actividades de campo tuvo lugar en la mina Pribbenow-La Loma, entre noviembre 19 y 23 de 2013. La ubicación del sitio es mostrada en la Figura 1.

### **Rocas, sedimentos, carbones ---Fuentes sólidas de contaminantes.**

La CGR recolectó 26 muestras geológicas sólidas de los sitios de la segunda fase (ver Anexo 2, Figura 2-2 y Tabla 2-4), de las cuales 20 fueron analizadas.



Como en la primera fase, muestras sólidas fueron recolectadas de carbones y sedimentos asociados provenientes de las paredes y los pisos de pozos; materiales de relleno de pozos, roca estéril; y sedimentos de corriente. Estas incluyeron: 4 de drenajes de roca estéril; 16 de pilas de roca estéril; 4 esquistos de muros de pozos a cielo abierto; 2 carbones de muros de pozos a cielo abierto.

Todas las muestras geológicas sólidas (carbón y sedimentos asociados, roca estéril, etc.) recolectadas en la mina Pribbenow-La Loma contenían significantes concentraciones de aluminio, bario, boro, calcio, fluoruro, hierro, litio, magnesio, manganeso, potasio, sílice, sodio, sulfato, azufre\*, que son las esperadas, ya que estos constituyentes son comunes en carbones y sedimentos asociados. La mayoría de las muestras sólidas también contenían concentraciones elevadas de numerosos metales y metaloides, tales como: arsénico\*, berilio, cadmio\*, cobalto, cobre\*, cromo, molibdeno\*, níquel, plata\*, plomo\*, selenio\*, talio\*, estaño\*, vanadio, zinc\*. Aquellos constituyentes que tienen el símbolo \* estuvieron presentes en altas concentraciones, comparados con las abundancias de corteza de roca promedio (Rose, Hawkes & Webb, 1979). Dos muestras contenían elevadas concentraciones de mercurio\*. *Ninguna de las dos muestras sólidas de la segunda fase contenía antimonio.* Debido a que todas las muestras sólidas de la primera fase contenían elevadas concentraciones de antimonio y a que el antimonio está usualmente presente en carbones que contienen arsénico, estos resultados de antimonio de la segunda fase deberían ser considerados cuestionables.

La mayoría de muestras sólidas tuvo concentraciones de azufre total superiores a las 400 ppm, que están generando los bajos pHs medidos en muchas aguas subterráneas de Pribbenow. La mayoría de carbones en el mundo entero también contiene concentraciones elevadas de uranio y otros elementos naturalmente radioactivos, pero el laboratorio de la auditoría no pudo establecer tales determinaciones.

La tabla 2 resume *algunos* de los constituyentes químicos contenidos en las muestras sólidas de Pribbenow. *Análisis químicos completos de estas muestras son presentados en el Anexo 2. Las concentraciones son reportadas como partes por millón (ppm), lo que es equivalente a mg / Kg.*

**Tabla 2.** Datos de composición de rocas y sedimentos de los botaderos antiguos y de retrolllenado de la mina Pribbenow. **N.D.** No detectado, por debajo del límite de detección.

Muestra	Sitio de muestreo	Sulfatos ppm	Sulfuros totales ppm	AsTotal ppm	Cu Total ppm	Cr Total ppm	Ni Total ppm	Ta Total ppm	Zn Total ppm
MPL-SoBR3	Botadero patio de tubos	2624	1134,3	156,3750	83,8970	24,771	48,480	16,500	177,900
MPL-SoBR4	Botadero patio de tubos	12846	422,7	178,5500	115,1245	19,415	50,205	42,650	212,600
MPL-SoS3	Botadero 3A	2040	1795,2	6,3400	135,2300	74,210	55,881	34,898	273,126
MPL-SoS4	Botadero 3A	671	1888,95	11,4950	183,6700	74,410	76,918	31,114	359,699
MPL-SoBR7	Botadero 3A	7137	437,8	216,7500	141,7645	25,460	47,499	45,000	400,000
MPL-SoBR10	Botadero 3A	7633	470,2	305,2000	186,7750	160,133	61,200	60,800	321,200

Muestra	Sitio de muestreo	Sulfatos ppm	Sulfuros totales ppm	AsTotal ppm	Cu Total ppm	Cr Total ppm	Ni Total ppm	Ta Total ppm	Zn Total ppm
MPL-SoBR1	Botadero de retrolenado	12977	672,3	156,5750	75,8830	26,115	56,690	17,355	207,900
MPL-SoBR9	Botadero de retrolenado	6236	400,6	N.D.	226,8700	5,514	61,365	29,500	469,000
MPL-SoBR8	Botadero de retrolenado	924	529,1	258,5000	163,4750	32,152	76,585	24,550	259,500
MPL-SoS1	Botadero W1	2436	1886,1	18,7850	92,8000	61,080	49,575	25,302	210,798
MPL-SoS2	Botadero W1	660	1898,3	17,6100	74,1700	57,550	55,881	21,141	217,967
MPL-SoBR2	Botadero W1	829	896,5	216,8050	57,1200	18,927	41,920	20,185	214,700
MPL-SoBR5	Botadero W1	901	506,3	92,0000	129,6900	25,422	45,375	28,335	125,100
MPL-SoBR6	Botadero E2, Cerca @ relleno sanitario	543	469,7	123,9900	113,9860	23,161	50,152	38,810	194,200

Avda. La Esperanza Cra. 60 No. 24 - 09 PBX 6477000 Ext. 1200 · Bogotá, D. C. · Colombia ·

[www.contraloriagen.gov.co](http://www.contraloriagen.gov.co)

### ***Hidrogeología: Disminuciones del nivel del agua.***

Como se mencionó antes, el equipo de la CGR no pudo encontrar *datos detallados –medidos a lo largo del tiempo, no previstos–* de los volúmenes de aguas superficiales y subterráneas disponibles en y alrededor de cualquiera de los sitios mineros, incluyendo Pribbenow-La Loma. Adicionalmente, este equipo de la CGR no pudo obtener datos detallados sobre los niveles del agua, los mapas freáticos, los volúmenes de agua bombeada de los pozos mineros, los resultados de las pruebas de bombeo o los balances de aguas detallados mostrando los volúmenes utilizados y descargados por estas empresas. La CGR hizo búsquedas extensivas en los archivos disponibles del Ministerio del Medio Ambiente, ANLA, Corpocesar, y, posteriormente, en los archivos de las empresas mineras. No fueron localizados ni puestos a disposición de la CGR datos adecuados sobre los volúmenes y usos de las aguas mineras.

No fueron puestos a disposición por la Drummond ni descubiertos en las búsquedas extensivas de los archivos regulatorios, datos hidrogeológicos de línea de base verdaderos para la mina Pribbenow-La Loma. Es una práctica industrial común que los estudios de la calidad del agua e hidrogeológicos sean realizados en todos los sitios mineros a larga escala similares, comenzando antes del inicio de las operaciones y continuando a todo lo largo de la vida de la mina. Tal información detallada es necesaria para atraer inversionistas antes de que un proyecto pueda comenzar.

Este tipo de informe hidrogeológico integrado fue preparado para la zona de La Loma en 1983 (Brown, 1983), planeado como inclusión en un estudio de factibilidad. Phil Brown, el autor original, me (Moran) lo facilitó en 2012. Basado en pruebas hidrogeológicas realizadas en 1983, Brown predijo la afluencia del pozo durante los primeros 10 años del acuífero aluvial en 9.8 L / sec. Este informe contenía mediciones del nivel del agua de 13 piezómetros con alcances que iban de uno, que fluía naturalmente en la superficie de la tierra (artésiano),

al nivel más profundo de 7.1 m por debajo de la superficie de la tierra (bls). La mayoría de los niveles del agua en 1983 fueron menores de 5 m bls.

Durante la auditoría de 2013 en la mina Pribbenow, la CGR hizo mediciones del nivel del agua en 13 piezómetros o aljibes (ver Anexo 2, Tabla 2-3).

**Tabla 1.** Datos de profundidad del nivel freático medidos en pozos (aljibes) y piezómetros.

Código de Campo CGR	Lugar de muestreo	Nivel de agua estático (m.b.s)
P26CAS1/P16	Finca Pachito-Boquerón-Cesar Pozo 16.	1,55
P28CAS03/P3 Borrego I	Hacienda el Borrego Pozo 3	1,36
P30CA6204	El paso-Cesar. Pozo 6. Zona de trenes	2,45
P33CA62-07	Vía Barraca	14,98
P32CA62-06	Chiriguaná-La Jagua. Tanque	2,81
P34 CAG2-09	Boquerón -Cesar	5,45
P35-CA62-10	La Loma-Cesar	5,55
P40CAG2-15	La Loma-Cesar PZ 44	4,715
P44CA62-19	Piezómetro 03 Paujil	1,72
P45CA62-20	Pz-w1 Botadero Este - PZ 41	20,77
No muestra	PZ 40	25,88
P47CA62-22	Piezómetro ubicado en el predio del ciudadano Luis Alfredo Cano	0,475
P36CAG2-11	El Paso Hatillo	12,85

Avda. La Esperanza Cra. 60 No. 24 - 09 PBX 6477000 Ext. 1200 · Bogotá, D. C. · Colombia ·

[www.contraloriagen.gov.co](http://www.contraloriagen.gov.co)

Brown (1983) reportó niveles del agua de 0.1 y 5.27 m bls en la zona que es actualmente el pozo viejo. Esta zona está rellena actualmente con roca estéril y no existen piezómetros en las mismas ubicaciones medidas por Brown, por lo tanto no es posible hacer comparaciones directas del nivel del agua. No obstante, los niveles del agua medidos por la CGR (2013) en piezómetros y pozos cercanos fueron: 1.36, 14.98, y 20.77 m bls. *Estos datos indican que el nivel del agua en las zonas alrededor del pozo existente ha descendido aproximadamente 10 metros debido a la deshidratación de la mina. Si es correcto, tales descensos han impactado probablemente negativamente los niveles del agua en los pozos municipales, comerciales y privados cercanos, causando el secamiento de algunos pozos y manantiales e incrementando los costos de bombeo y reparación para los habitantes locales. Un bombeo de agua del pozo semejante, de gran volumen y a largo plazo, posiblemente también ha despresurizado el acuífero principal de la roca madre, que se comportaba antiguamente como un acuífero confinado, basados en los datos de Brown de 1983. Finalmente, tales disminuciones del nivel del agua pueden haber impactado negativamente los flujos en las corrientes y los humedales, tanto local como regionalmente.*

**Calidad del agua.** Durante la auditoría de la fase 2, 36 muestras de agua subterránea y superficial fueron recolectadas y analizadas en el laboratorio del Acueducto. [21 de agua superficial; 15 de agua subterránea]. Todas las muestras fueron preservadas inmediatamente en el campo y transportadas inmediatamente, al final de cada día, al laboratorio del Acueducto de Bogotá. Como ocurrió en la fase 1, todas las muestras de agua *no* fueron filtradas en el campo. Los datos son presentados en el Anexo 2.

En general, concentraciones más altas de constituyentes químicos solubles serán liberados de los materiales de grano fino en las aguas locales, que serían liberados de la roca original no rota --independientemente del pH de las aguas. Las concentraciones de muchos constituyentes químicos [metales, metaloides, no metales, etc] se incrementarán extremadamente cuando entren en contacto con aguas ácidas y con un pH bajo. Similarmente, las concentraciones de algunos constituyentes químicos, especialmente aquellos que forman aniones cargados negativamente en aguas “normales” [es decir, aluminio, arsénico, antimonio, selenio, manganeso, molibdeno, talio, vanadio, uranio, cromo, níquel, etc.], se incrementarán ya que el pH se eleva por encima de aproximadamente 8.5. Incluso cuando las aguas que reaccionan con materiales geológicos son de un pH casi neutro, las concentraciones de constituyentes solubles se incrementarán cuando son producidas partículas de roca más pequeñas (Moran, 2012).

**Calidad del agua subterránea –Datos empresariales.** Ver la discusión en el aparte Hallazgos generales.

**Auditoría de la calidad del agua subterránea.**

Todas las muestras de aguas subterráneas de la fase 2 (mina Pribbenow-La Loma) tuvieron pHs ácidos a medianamente ácidos (alcanzando entre 4.0 y 6.8), con mediciones bajas de C.E. (alcanzando entre 20 y 785  $\mu$ S, teniendo la mayoría menos de 200  $\mu$ S) y consecuentemente bajas concentraciones de sólidos disueltos totales (SDT) (entre 28 y 560 mg/L, teniendo la mayoría menos de 300 mg/L) [ver Anexo 2]. Estas aguas subterráneas tenían bajas concentraciones de sulfato (la mayoría entre 2.0 y 45 mg/L) y bajas concentraciones de cloruro (la mayoría por debajo de 15 mg/L). Concentraciones elevadas de sulfato y cloruro son a menudo dos de los mejores indicadores de impactos negativos causados por las operaciones mineras, ya que estos son dos de los constituyentes disueltos más geoquímicamente móviles. Estos datos indican que los sitios P34, P26 y P47 pueden estar algo impactados por las actividades mineras.

**Tabla 4.** Parámetros de medición para agua subterránea para la mina Pribbenow.

Muestra	Sitio de muestreo	pH (Campo)	Cond. (campo)	SDT mg/L	SST mg/L	Turbiedad	Sulfatos mg/L	Nitratos mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L	Bicarbonatos CaCO <sub>3</sub> mg/L	Coliformes Fecales UFC/100 mL	Coliformes Totales NMP/100 mL	Prof. Total (m)
P34 CAG2-09	Pozo Boquerón	6,8	512	328	7	0,8	90	0,097	159	0	0	50
P26CAS1/P16	Pozo Boquerón	6,4	329	264	1	1,1	83	4,017	47	310	3410	5

P47CA62-22	El Paso- Piezómetro- 04	6,3	785	560	424	211	8	4,071	100	7,5	16,1	37
P30CA6204	El Paso- Pozo 6. Zona de trenes	5,5	121	88	4	2,75	10	0,273	18	21,8	62,4	6.4

En general, estas aguas subterráneas tuvieron *bajas concentraciones de todos los iones mayores y de la mayoría de elementos rastreables*. Calcio, magnesio, potasio, sodio, aluminio, hierro y manganeso fueron detectables en concentraciones significativas. Algunas muestras tenían bajas concentraciones de boro, bario, cromo, cobalto, cobre, litio, níquel, zinc y una con arsénico detectable. Varias de estas muestras también contenían concentraciones significativas de nitrato, nitrógeno orgánico (Kjeldahl-N), fósforo total, fluoruro y sílice. Más significativamente, muchas de estas muestras también contenían concentraciones relativamente bajas de bacterias coliformes, indicando que las bacterias no contaminan seriamente estas aguas subterráneas –siendo P26 la excepción. Las altas concentraciones de sólidos suspendidos (SST) y de turbiedad en los piezómetros P47 y P44 indican incertidumbres que deberían ser mejor examinadas. Estos piezómetros pueden no haber sido adecuadamente desarrollados durante la construcción o estas aguas pueden ser químicamente inestables, causando la formación de precipitados durante el muestreo. Por lo tanto, resulta importante muestrear (y medir) todos los sitios de aguas subterráneas a fin de verificar la coherencia de los datos y patrones.

***Auditoría de la calidad del agua: Zonas impactadas por las operaciones mineras.***

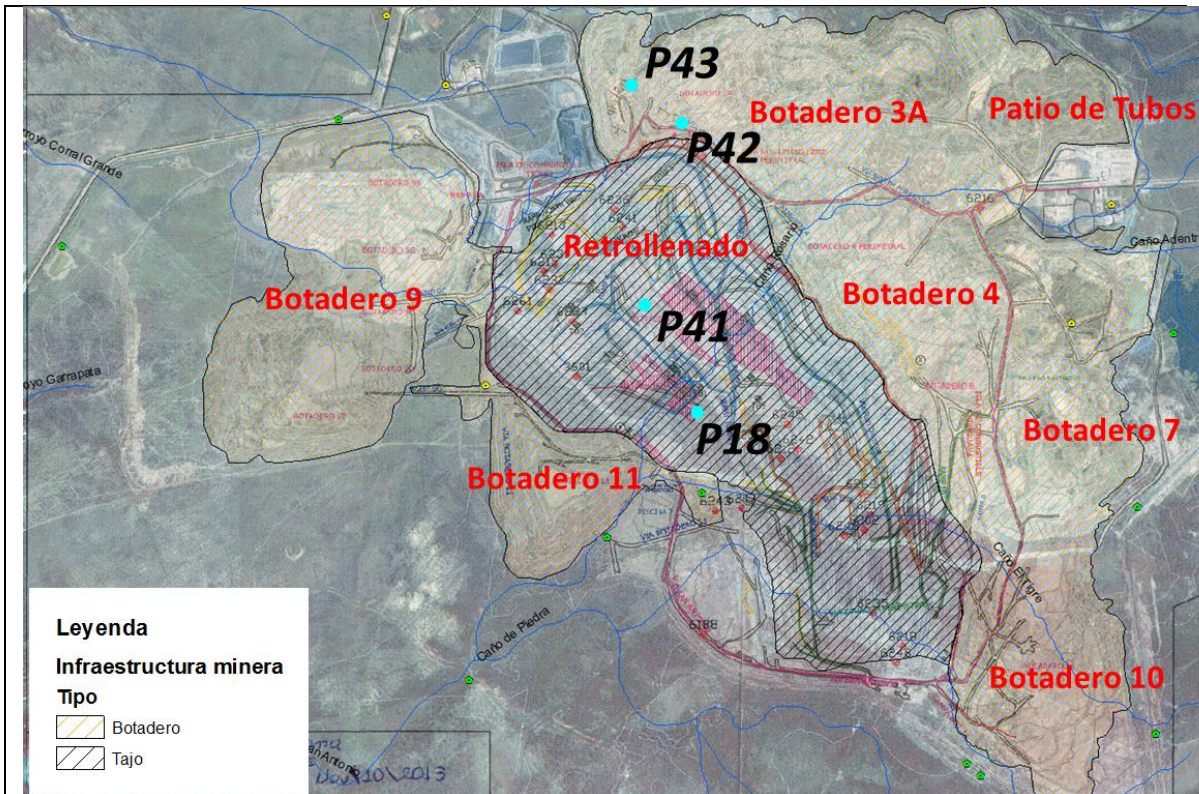
Como se afirmó previamente, la CGR no encontró datos de la calidad del agua de la línea de base detallados para la mina Pribbenow-La Loma, ni en los archivos de la empresa ni en los de las entidades reguladoras. De nuevo, sin embargo, los datos en el estudio de Brown (1983) fueron extremadamente informativos. Brown reportó la conductancia específica (C.E.) en el campo de la línea de base de once de los trece piezómetros como siendo bastante baja, alcanzando entre 79 y 590  $\mu\text{S} / \text{cm}$ . Una excepción tuvo una C.E. de 950 microS. *En 2013, la mayoría de las aguas subterráneas muestreadas por la CGR tuvo valores de C.E. menores de 200  $\mu\text{S}$  y consecuentemente bajas concentraciones de sólidos disueltos totales (SDT), entre 28 y 560 mg/L, teniendo la mayoría menos de 300 mg/L.*

En 1983, estos mismos piezómetros tuvieron pHs alcanzando de 6.8 a 8.7, con un pH medio de 7.7. Las mediciones del pH del agua subterránea hechas por la CGR en 2013 (ver más arriba la discusión) alcanzaron entre 4.0 y 6.8. *Por lo tanto, resulta claro que las actividades mineras han causado un descenso significativo en el pH de estas aguas desde 1983.*



**Calidad del agua del pozo y de la roca estéril.**

Los datos en la Tabla 5 resumen algunos de los componentes químicos presentes en las aguas que drenan de la roca estéril, las paredes y los pisos de los pozos y los materiales de relleno en la mina Pribbenow-La Loma. Estos datos muestran la obvia degradación de la calidad del agua producida por estas descargas de desechos mineros, cuando se comparan con las aguas subterráneas y superficiales descritas en otras secciones de este informe.



**Figura 2.** Localización de los puntos de muestreo de aguas relacionadas al botadero 3A, a la zona de retrolleado y al fondo del tajo. Imagen: Ortofoto de noviembre de 2013, Drummond. Elaboró: CGR.

Las muestras de agua asociadas a los materiales de botadero y al fondo del tajo, presentan altas conductividades y concentraciones de sulfatos, bicarbonatos, nitratos (ver Tabla 5).

**Tabla 2.** Datos de composición de aguas de botaderos, retrolleado y fondo de tajo de la mina Pribbenow.

Muestra	Sitio de muestreo	pH (Campo)	Cond. (campo)	SDT mg/L	SST mg/L	Sulfatos mg/L	Bicarbonatos CaCO <sub>3</sub> mg/L	Fe Total mg/L	Nitratos mg NO <sub>3</sub> -N/L
P42-CA62-17	Agua de botadero 3A	8,3	2230	1640,2	12	1159	355	0,108	1,737
P41CA62-16	Retrolleado o con escombros	8,7	4370	3606	120	4370	793	1,177	7,828
P18-CAG1-13/PLC	Fondo de tajo	8,0	3250	2604	98	1233	465	0,834	0,565

Datos de los piezómetros de la mina ubicados en gradiente descendente de las pilas de roca estéril de Pribbenow (P40 y P45) también muestran los valores extremadamente elevados de C.E. (2240 y 2740  $\mu$ S), SDT (7617 & 2798 mg/L), alcalinidad (1158 & 632 mg/L), dureza (308 & 1576 mg/L), sodio, (477 & 245 mg/L), bicarbonato (1158 & 632 mg/L), sulfato (880 & 1492 mg/L), junto con elevadas concentraciones de aluminio, arsénico (45), bario, boro, cobalto, cobre, cromo, hierro (486 & 4.2 mg/L), litio, manganeso (4.2 & 0.54 mg/L), mercurio (40), molibdeno, níquel, talio (P40), vanadio (P40), zinc, nitrógeno orgánico y carbono orgánico, y la contaminación por bacterias coliformes.

### ***Calidad del agua superficial.***

Las aguas subterráneas que en gran parte no están contaminadas por las operaciones mineras, están representadas por las muestras P2, P3, P4, P5, P8, P9, P10, P15 y P43 (agua del canal del depósito). Todas tuvieron pHs de alcalinos a casi neutros (entre 6.8—8.5), valores bajos de C.E. (a menudo menos de 300  $\mu$ S), sólidos disueltos totales bajos y concentraciones de elementos rastreables de no detectables a bajas. Sin embargo, todas están contaminadas por bacterias coliformes, que probablemente resultan de numerosas fuentes, adicionalmente a las operaciones mineras.

Resulta claro que las aguas superficiales que reciben drenaje de las pilas de roca estéril y de los pozos a cielo abierto (paredes, pisos, rellenos) están siendo contaminadas por las operaciones de la mina Pribbenow-La Loma. Los datos provenientes de muestras como P16 y P17 muestran que las operaciones mineras también están aumentando las concentraciones de numerosos constituyentes disueltos, la salinidad y los sedimentos disueltos corriente abajo de las operaciones mineras, degradando de este modo la calidad del agua no solamente local sino también regional. También es probable que las operaciones de Pribbenow-La Loma estén causando un aumento de la salinidad de los suelos regionales y locales, y que puedan incrementar la acumulación de constituyentes químicos potencialmente tóxicos en los humedales regionales, a largo plazo, como en la Ciénaga de Zapatoza.

### **Comparaciones con las guías y los estándares de la calidad del agua colombianos e internacionales: Ambas fases 1 y 2.**

Anexo 3 es una comparación de la mayoría de las guías y los estándares de calidad del agua más relevantes para Estados Unidos, Canadá y Colombia, relacionados con varios usos del agua. Hay que anotar que los estándares de calidad del agua para Colombia regulan muchos menos constituyentes y son generalmente menos rigurosos que aquellos vigentes para Estados Unidos o Canadá (o la mayoría de otros países desarrollados).

Ninguno de los manantiales muestreados por la CGR en la fase 1 y 2 contenía constituyentes químicos que excedieran ninguno de los estándares de calidad

del agua (regulados) colombianos o internacionales importantes o las guías de la calidad del agua (sugeridas, no reguladas legalmente). La única excepción es el talio, y ambos manantiales excedieron el Estándar del Agua Potable de Estados Unidos para este elemento tóxico, lo que parece estar ocurriendo naturalmente en concentraciones elevadas en muchas de estas rocas y aguas.

Comparando los datos de la calidad del agua superficial de la CGR con las guía y los estándares presentados en Anexo 3, los impactos más significativos en estas aguas se relacionan con los incrementos en los sólidos disueltos totales (SDT), aportados predominantemente por calcio, magnesio, sodio, bicarbonato, sulfato, todos los cuales contribuyen a los aumentos en la salinidad y dureza de estas aguas y estos suelos. Adicionalmente, otros constituyentes, como aluminio, litio, hierro, manganeso y talio, también contribuyen a los elevados SDT y pueden volver estas aguas inadecuadas para varios usos.

Las concentraciones de *sulfato* excesivas en aguas impactadas por la minería a menudo exceden los estándares colombianos e internacionales para el agua potable (ver Anexo 3), y la pauta canadiense para aguas destinadas a la ganadería. Dentro de la zona de la auditoría 1, los datos limitados de la CGR muestran que las concentraciones de sulfato en la corriente principal del río Tucuy no exceden los estándares para el sulfato. Corriente abajo de esta zona de la fase 1, las minas de carbón aportan adicionalmente más sulfato y otros constituyentes al río Tucuy y otros drenajes, al igual que algunas fuentes agrícolas e industriales. Resulta claro que se necesita un muestreo corriente abajo adicional para cuantificar los impactos y las tendencias. La única descarga de plantación de palma de esta auditoría (SuR14) contenía 91 mg/L de sulfato, que es relativamente baja comparada con concentraciones de sulfato en la roca estéril y los drenajes de la mina.

Las concentraciones de *manganeso* en algunas muestras, especialmente en aquellas impactadas por las actividades mineras, exceden los estándares colombianos para la flora, la fauna y la agricultura. Resulta poco claro a cuáles aspectos específicos de la agricultura se refiere este estándar colombiano: la irrigación de cosechas, al agua para el ganado, al agua para otros animales relacionados con la agricultura. Adicionalmente, algunas concentraciones de manganeso también exceden los estándares para el agua potable de Estados Unidos y Canadá. Aunque no está normalmente discutido en los documentos reguladores de Estados Unidos y Canadá, cantidades excesivas de manganeso tienen potencialmente efectos tóxicos en numerosas formas de vida acuática. Los efectos tóxicos en los peces de agua fría aparecen en concentraciones por debajo de 10 mg / L de manganeso (Reimer 1988).

Las concentraciones de *hierro* excedieron las regulaciones colombianas para la fauna y la flora, en numerosas ubicaciones tanto en drenajes impactados por la minería como en las aguas superficiales. Adicionalmente, las concentraciones



de hierro en las aguas impactadas por la minería, a menudo exceden los estándares internacionales para el agua potable y la vida acuática (crónica).

Los estándares y las guías internacionales para el *aluminio* en el agua potable y la vida acuática son excedidos en los drenajes impactados por la minería y en algunas aguas superficiales. Colombia no tiene estándares o guías para el aluminio comparables.

Algunas determinaciones de *amoníaco* en aguas contaminadas excedieron las guías de Estados Unidos y Canadá para la vida acuática (crónica), resultado probablemente de la combinación de residuos explosivos (Ferguson & Leask, 1988; Morin & Hutt, 2009) y la descomposición de carbones.

Algunas muestras tuvieron concentraciones elevadas de *nitrate*, pero pocas excedieron los estándares o las guías. Las concentraciones de nitrato elevadas son motivo de preocupación, ya que probablemente se incrementarán debido a las descargas incontroladas de la minería (explosivos, químicos, aguas residuales, etc.) y otras fuentes municipales, industriales y agrícolas.

Numerosas determinaciones de *talio* exceden el Estándar para el Agua Potable EPA de Estados Unidos y la Pauta para la Vida Acuática (crónica) de Canadá para los organismos de agua fría. Esto es válido tanto para las aguas impactadas por la minería como para otras aguas superficiales.

Otros constituyentes químicos son comunmente encontrados en carbones y descargas de aguas de carbones en concentraciones elevadas, pero que no tienen estándares reguladores, aunque son conocidos porque generan impactos biológicos en varios organismos, es decir, *litio*, *estroncio*, *vanadio*.

Se sabe que los carbones contienen elevadas concentraciones de radioactividad natural, que es a menudo liberada en sus aguas descargadas (y sus partículas de polvo) en la forma de una radioactividad elevada del uranio, torio, radio, alfa total y beta total (Estados Unidos EPA, 2008). Tales constituyentes pueden ser móviles tanto en aguas ácidas como alcalinas. Estos constituyentes radioactivos pueden tener impactos negativos en numerosas formas de organismos, como fuentes de radiación y químicos tóxicos en sí mismos, como el uranio. Resulta claro que el uranio elemental ha sido encontrado tóxico, *químicamente*, porque Estados Unidos y Canadá, después de décadas de investigación, han desarrollado estándares de agua potable de 30 y 20  $\mu\text{g} / \text{L}$ , respectivamente — que son equivalentes a 30 y 20 partes por billón (ver Anexo 3). Canadá también ha adoptado guías muy rigurosas para el uranio para los usos del agua en la irrigación, la ganadería y la vida acuática.

Desafortunadamente, no hay estándares o guías del agua para la radioactividad o el uranio comparables en Colombia. Más importante aún, no pudimos incluir el uranio o cualquier otro de los componentes radioactivos en esta auditoría de la

fase 1, ya que el laboratorio del Acueducto no tiene la capacidad de determinar estos constituyentes.

Numerosas muestras de agua tuvieron concentraciones de *carbono orgánico* superiores a los 10 mg / L, lo que resulta inusual en aguas dulces naturales (Hem, 1985; Moran, 1976). Aunque no existen estándares o guías para el carbono orgánico, tales concentraciones indican que estas aguas están siendo degradadas por la adición de compuestos orgánicos provenientes de la descomposición de los carbones y posiblemente de la adición de otros componentes orgánicos.

Resulta claro que las actividades relacionadas con la minería incrementan las cargas y concentraciones de numerosos metales, elementos metaloides, no metales (como las sales), nutrientes y otros compuestos orgánicos en las aguas de la zona auditada. Muchos de estos constituyentes no tienen estándares o guías que los regulen ni internacionalmente ni en Colombia. No obstante, es la suma total de estos constituyentes la que se ha incrementado y genera toxicidad potencial en todas las formas de vida, especialmente en los organismos acuáticos.

En la mayoría de los sitios monitoreados, las concentraciones de solamente unos pocos de los constituyentes químicos excedieron las normas legales. No obstante, la degradación de la calidad del agua documentada en esta auditoría puede generar toxicidad en los organismos biológicos, porque resulta de la suma de todos los constituyentes químicos que son agregados a las aguas, no simplemente de los pocos que han sido formalmente regulados (ver Estados Unidos EPA 2004).

Muchas de las aguas subterráneas en Pribbenow tuvieron pHs por debajo de 4.5, lo que significa que no serían adecuadas para usos agrícolas. Otras aguas subterráneas tuvieron pHs por debajo de 5.0, indicando que no son adecuadas para el consumo humano, sin tener antes alguna forma de tratamiento.

Los pozos autorizados como fuentes de agua para el consumo humano en los pueblos adyacentes a la mina Pribbenow (El Hatillo, Plan Bonito) tuvieron deficiencias de construcción y mantenimiento (por ejemplo, tapas fácilmente desmontables, condiciones de suciedad, fuentes de agua degradadas). Por lo tanto, estas aguas estaban contaminadas por bacterias coliformes y tenían pHs ácidos. Algunas tuvieron concentraciones elevadas de nitratos que pueden resultar del uso de explosivos y floculantes en la mina, o pueden también ser causadas por el uso de fertilizantes y pesticidas por parte de otros usuarios del agua. La mayoría de pozos y piezómetros en todas las tres zonas mineras auditadas mostró contaminación coliforme.

## **Conclusiones y recomendaciones sobre la auditoría del agua en Carbones de la Jagua, Norcarbón y Pribbenow**

- Las instalaciones mineras y las actividades relacionadas con ellas en todas las minas auditadas (Carbones de la Jagua (CDJ), Norcarbón y Drummond Pribbenow-La Loma) están degradando la calidad del agua superficial y subterránea en las regiones mineras.
- La deshidratación causada por la actividad minera y otras operaciones parece haber hecho descender los niveles del agua subterránea local, especialmente en la mina Pribbenow-La Loma, incrementando de este modo los impactos negativos y los costos para los usuarios cercanos.
- Los impactos de la minería de carbón generan costos a largo plazo para la República de Colombia, que no están siendo pagados por las empresas.
- Las autoridades reguladoras no han evaluado o interpretado adecuadamente los datos ambientales y del agua de la minería durante muchos años. Estas autoridades reguladoras no han hecho cumplir las leyes importantes o evaluado las cargas financieras apropiadas para el uso o la degradación de los recursos nacionales.
- Las principales fuentes de contaminación del agua en todos los sitios auditados fueron las pilas de roca estéril, las paredes y los pisos de las minas a cielo abierto, las reservas de carbón, las filtraciones de los estanques de sedimentos y la corriente de escorrentía de las carreteras y otras instalaciones.
- Las concentraciones de los siguientes constituyentes son incrementadas en las aguas superficiales y subterráneas locales por las actividades relacionadas con la minería: calcio, magnesio, sodio, dureza del agua, alcalinidad total, sulfato, aluminio, arsénico, bario, hierro, litio, manganeso, molibdeno, níquel, selenio plata, talio plata, vanadio, zinc, boro, amoníaco, nitratos, nitrógeno orgánico (Kjeldahl), carbono orgánico, fósforo, etc.
- Las actividades mineras han incrementado las concentraciones y cargas de salinidad, sólidos disueltos totales (SDT) y sólidos suspendidos totales (SST), etc., transportados en gradiente descendiente en las corrientes de agua locales, posiblemente impactando negativamente los suelos y campos locales, los patrones de drenaje y posiblemente los hábitats terrestres y acuáticos.
- Resulta probable que estas concentraciones y cargas incrementadas de constituyentes y sedimentos químicos se estén acumulando en represas y

depósitos corriente abajo y posiblemente en humedales regionales y locales como la Ciénaga de Zapatoza.

- Las investigaciones realizadas por la CGR en los archivos de las entidades gubernamentales importantes en Colombia (Ministerio del Medio Ambiente, ANLA y Corpocesar) revelaron datos relacionados con el agua de estas minas poco fiables técnicamente y poco útiles. Los datos históricos inadecuados y limitados no les permitieron a las entidades reguladoras o al público evaluar completamente los impactos relevantes en las aguas locales, los suelos, la vida salvaje, las reservas de agua potable y la salud humana. El acceso a estos archivos resultó difícil.
- Donde estaban presentes, los datos del agua empresariales eran en gran parte inadecuados para cumplir con el permiso o los requisitos técnicos. Los lugares de monitoreo de aguas superficiales y subterráneas eran inadecuados para revelar los impactos. Los pozos de agua subterránea y los piezómetros fueron construidos y mantenidos incorrectamente. Casi no hubo datos disponibles sobre la cantidad de agua, incluyendo los niveles de las aguas profundas, las pruebas acuíferas, etc. Los datos de la calidad del agua carecían de análisis de constituyentes químicos importantes; muchas determinaciones hechas en el laboratorio usaron límites de detección inadecuados, etc. Donde estaban presentes, los datos empresariales no fueron compilados y coordinados de manera útil para la supervisión por parte de las entidades reguladoras. Tales datos fueron de calidad inadecuada para permitir una interpretación estadística fiable.
- Ninguno de los archivos gubernamentales contenía datos empresariales mineros que representaran condiciones de línea de base verdaderas, esto es, datos recolectados antes de que las actuales actividades mineras comenzaran. *Por lo tanto, el público y las entidades reguladoras no tienen datos iniciales fiables con los cuales puedan comparar las condiciones y los impactos actuales. Datos históricos inadecuados existen para concluir que los niveles del agua han cambiado o disminuido o que los manantiales se han secado.*
- Los datos y la información relacionados con el agua disponibles para la CGR no fueron integrados de una manera necesaria para responder las preguntas más básicas. A nivel internacional, los estudios de la calidad del agua e hidrogeológicos son comúnmente preparados en todos los sitios mineros semejantes, comenzando antes del inicio de las operaciones. Tal información detallada es necesaria para atraer inversionistas antes de que un proyecto pueda comenzar. Este tipo de informe hidrogeológico integrado fue preparado para la zona de Pribbenow-La Loma en 1983 (Brown, 1983), destinado para su inclusión en un estudio de factibilidad. Resulta probable que informes similares

hayan sido preparados para las minas de Norcarbón y CDJ, *pero ninguno de ellos estuvo disponible para la CGR en los archivos del Ministerio del Medio Ambiente, ANLA o Corpocesar.*

- Idealmente, las entidades reguladoras tendrían que tener datos ambientales y de recursos hídricos recolectados por partes que son técnica y económicamente independientes de las empresas mineras. Esta auditoría fue parcialmente un intento para recolectar tales datos.
- Las capacidades del laboratorio de la Empresa de Acueducto de Bogotá (EAB) necesitan ser mejoradas para permitir el análisis de constituyentes radioactivos naturales, que están a menudo presentes en los carbones y en el mineral de oro y plata y en sus desechos (es decir, uranio, radio, torio, alfa total y beta total). Igualmente, las capacidades de la EAB para el análisis de compuestos orgánicos complejos necesitan ser mejoradas. Actualmente, el laboratorio de la EAB no tiene estas capacidades analíticas.
- Colombia tiene numerosas regulaciones ambientales y relacionadas con el agua de la minería de carbón, pero hay poca aplicación real por parte de las entidades correspondientes. Los hallazgos de la auditoría revelan la necesidad de fortalecer los estándares y las guías de la calidad del agua colombianos, relacionados con la minería de carbón y otros usos — *y de hacerlos cumplir.* Estos estándares y guías deberían ser revisados a un nivel comparable con los de la Unión Europea, Estados Unidos y Canadá.
- Cuaquiera sean las correcciones realizadas por las entidades reguladoras colombianas en sus informes, los requisitos deberían ser relativamente simples y no legalistas, *pero ir acompañados de su cumplimiento real.* El automonitoreo y la autoregulación fallan claramente en todos los entornos regulados.
- Algún mecanismo necesita ser encontrado para financiar *auditorías independientes* similares de los sitios mineros. Actualmente, las diferentes entidades reguladoras carecen de fondos adecuados para emprender actividades tan costosas. Los costos analíticos solamente para estas muestras de la auditoría fueron de aproximadamente \$1000 dólares por muestra. Parece más razonable que tales fondos sean suministrados por las empresas mineras mismas, pero sin que ellas tengan ningún control técnico o político de las actividades de auditoría reales. Tales fondos podrían ser fácilmente generados de los ingresos por regalías del carbón.
- Estudios dirigidos por el Gobierno deberían ser realizados para determinar los costos reales de la minería de carbón para la sociedad colombiana en general, esfuerzos que incluyen costos razonables para el

agua y la polución. Varios estudios recientes han mostrado que los costos no financiados de la minería a menudo no generan suficientes beneficios para cubrir su uso de los recursos naturales y los costos de polución.

### **Preguntas técnicas para ser respondidas por los datos e informes empresariales.**

Las entidades reguladoras y el público en general en Colombia necesitan datos fiables e informes *integrados* que les permitirán responder las siguientes preguntas relacionadas:

- ¿Cuáles son las rocas y los sedimentos acuíferos y cuánta agua contienen?
- ¿Contiene la zona (y región) del proyecto estructuras geológicas importantes –como fallas, fracturas, pliegues—que puedan impactar la calidad y el flujo del agua? ¿Cómo han sido evaluadas tales estructuras? ¿Interpretación de perforaciones, mapeo geológico, fotos aéreas e imágenes satelitales?
- ¿Cuáles son las interconexiones existentes entre los depósitos aluviales poco profundos y la roca de fondo / los sedimentos? ¿Cuáles son las interacciones e interconexiones a largo plazo entre las aguas superficiales y profundas? ¿Actúan los pozos y las perforaciones de exploración como vías de flujo entre las formaciones o con las aguas superficiales?
- ¿Cuáles son las direcciones del flujo de agua subterránea (a corto plazo y a largo plazo)?
- ¿Cuánta agua se predice que va a fluir dentro de la mina a cielo abierto o los pozos? ¿Cuánta agua ha bombeado y descargado realmente la empresa de estas instalaciones, basada en datos de medición?
- ¿Cuáles son las fuentes y cantidades de agua que entran (y salen) en el sitio total del proyecto? Esto es, ¿cuál es el proyecto de balance de agua? Debería exigírsele a cada mina hacer un balance de aguas público y auditado.
- ¿Cuáles son las cantidades de carbón explotado y de roca estéril generadas cada año por cada mina?
- ¿Cuáles son los detalles de las redes de monitoreo de aguas superficiales y subterráneas, incluyendo los lugares de los piezómetros y pozos, los detalles de construcción, terminación y desarrollo? [Preferiblemente resumidos en tablas y figuras / mapas].
- ¿Son estas redes de monitoreo adecuadas para evaluar las actividades mineras presentes y futuras?
- ¿Cuáles son los detalles de las diferentes formas de pruebas acuíferas?
- ¿Han cambiado (han descendido / aumentado) los niveles del agua dentro del sitio de la mina y alrededor de las propiedades vecinas desde que comenzaron las operaciones? **¿Se compiló una base de datos de recursos hídricos de línea de base antes del inicio de las operaciones?** [Un monitoreo permanente de redes de pozos, piezómetros, manantiales].
- ¿Cuál es la calidad del agua en las diferentes formaciones geológicas?

- ¿Cuál es la calidad de las aguas superficiales regionales y locales, especialmente cerca de las instalaciones mineras (es decir, cerca de las pilas de roca estéril, los drenajes de las minas a cielo abierto, las instalaciones de las operaciones mineras, los garajes, las instalaciones de almacenamiento y eliminación de combustibles, las instalaciones de almacenamiento de explosivos)?
- ¿Fueron las muestras recolectadas y analizadas por partes fiables, según procedimientos fiables? ¿Determinan los análisis de laboratorio una lista adecuada de componentes químicos, usando métodos y límites de detección adecuados?
- ¿Cuáles son los detalles de la manera cómo fueron recolectadas, manejadas (filtradas, preservadas, transportadas, etc) las muestras de calidad del agua?
- ¿Cómo ha cambiado la calidad del agua a través del tiempo?
- ¿Son adecuados los datos de la calidad del agua para permitir una interpretación estadística?
- ¿Cuáles son los componentes geoquímicos detallados en los carbones y sedimentos asociados, por unidad geológica? [Incluyendo elementos rastreables y menores, componentes radioactivos naturales, azufre total, etc.]. ¿Como se relacionan estos datos geoquímicos con la calidad del agua superficial y subterránea del sitio de la mina y sus alrededores?
- ¿Hay represas, depósitos o humedales en la zona que puedan acumular los sedimentos y los otros desechos transmitidos a través del agua de las instalaciones mineras?
- ¿Cuáles otros receptores pueden ser impactados? [es decir, aguas domésticas, de ganadería, de irrigación, de pesquería, de organismos acuático].
- ¿Han sido combinados y evaluados los **impactos acumulativos** de todas las minas en la región por las **entidades reguladoras**?

Para promover la confianza en las actividades reguladoras y la elaboración de informes resulta imperativo que las respuestas a algunas preguntas relacionadas también sean hechas públicas. Estas incluyen:

- ¿Qué precio pagan las empresas de carbón por el agua que usan en sus operaciones?
- ¿Se ha fijado un precio que las empresas tengan que pagar por la contaminación o el agotamiento de las aguas locales?
- ¿Cuáles son las cantidades monetarias de **instrumentos de aseguramiento financiero** retenidas por el Gobierno para cada mina? Esto es, ¿cuánto dinero exige el Gobierno colombiano de esta empresa para que sea suministrado como garantía para pagar los impactos futuros en el agua y en otros recursos? Tales fondos son a menudo en forma de bonos o pólizas de seguro retenidos por partes independientes de las empresas mineras. Programas de aseguramiento financiero similares son comunes en Canadá, Estados Unidos y la Unión Europea (Kuipers, 2003; Estados Unidos. GAO, 2008; Western Australia, 2010). Las cantidades de

tales instrumentos de aseguramiento financiero y las condiciones relacionadas deberían ser hechas públicas antes de que el Gobierno expida los permisos de operación finales.

- ¿Cuáles son los efectos en la salud detallados para las poblaciones humanas y los impactos en los recursos hídricos debidos a todas las actividades relacionadas con la minería, incluyendo los impactos a la calidad del aire? La presente auditoría de la CGR no tuvo los fondos o las capacidades para investigar todos estos asuntos en detalle. No obstante, comprender tales impactos resulta crucial. Un equipo de partes independientes debe investigar los impactos relacionados con el aire, la salud humana y las comunidades acuáticas, posiblemente empleando especialistas de universidades (colombianas e internacionales) y otras entidades gubernamentales colombianas, posiblemente con asistencia internacional.



## **Referencias.**

Angel, Jennifer., & R. E. Moran, 2014, Informe Técnico Micro de Auditoria: Monitoreo Geoquímico Ambiental de Sólidos y Aguas a la Minería de Carbón en El Cesar, Colombia: Minas CDJ, Norcarbón y Pribbenow—Junio y noviembre de 2013; Contraloría General de la República, Colombia, 47 pg.

Biesecker, J.E. and J.R. George, 1965, Stream Quality in Appalachia as Related to Coal-mine Drainage; U.S. Geological Survey Circular 526.

Brown, Philip, E., 1983 (July), Preliminary Evaluation of the Groundwater Regime of the La Loma Coal Licenses, Cesar Department, Colombia, S.A.; prepared for Siminera / Greenley Association (Bogota), for the MINING PROJECT FEASIBILITY STUDY; 57 pg. and Appendices.

Cardoso-Diaz, Andrea & Martinez-Alier, Joan, 2013, Socio-Environmental Liabilities of Coal Mining In Cesar, Colombia. Thesis. Masters in Environmental Studies; L'Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA); Universidad Autònoma de Barcelona.

Cherbotarev, I.I., 1955, Metamorphism of Natural Waters on the Crust of Weathering; *Geochimica et Cosmochimica Acta* 8.

Contraloría General de la República, Colombia, 2014 (Abril), Actuación Especial a la Explotación Minera de Carbón en El Departamento Del Cesar; CGR-CDMA No-; 452 pg.

Cormier, Susan M., Glenn W. Suter II, Lei Zheng, Gregory J. Pond, 2013, Assessing causation of the extirpation of stream macroinvertebrates by a mixture of ions: *Environmental Toxicology and Chemistry*, pg. 277–287, February 2013.

Corpocesar and the University of Magdalena, 2010, FORMULACIÓN DEL MODELO HIDROGEOLÓGICO E HIDROLÓGICO, CONCEPTUAL Y NUMÉRICO, EN EL ÁREA DONDE SE UBICAN PROYECTOS DE EXPLOTACIÓN DE CARBÓN, TANTO ACTUALES COMO FUTUROS, EN LA PARTE CENTRAL DEL VALLE DEL RÍO CESAR, EN JURISDICCIÓN DE LOS MUNICIPIOS DE AGUSTÍN CODAZZI, BECERRIL, LA JAGUA DE IBÍRICO, CURUMANÍ, CHIRIGUANÁ Y EL PASO, EN EL DEPARTAMENTO DEL CESAR . . .; INFORME FINAL; 969 pg.

Dahrazma, Behnaz and Mehdi Kharghani, 2012, The Impacts of Alkaline Mine Drainage on Ba, Cr, Ni, Pb and Zn Concentration in the Water Resources of the Takht Coal Mine, Iran; *Earth Sci. Res. SJ. Vol. 16, No. 2 (December, 2012): p. 109 – 112.*

Dittman, Elizabeth K. & D.B. Buchwalter, 2010, Manganese Bioconcentration in Aquatic Insects: Mn Oxide Coatings, Molting Loss, and Mn(II) Thiol Scavenging; *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 44, No. 23, pg. 9182–9188

Domenico, P.A., 1972, Concepts and Models in Groundwater Hydrology; McGraw-Hill, New York, 405 pg.

Drake, C.F., 1931, Effect of acid mine drainage on river water supply: *Journal of American Water Works Association*, v. 23, no. 10, p. 1,474-1,494.

Driscoll, Fletcher G., 1986, *Groundwater and Wells*, 2<sup>nd</sup> Edition; Johnson Division, St. Paul, Minn., 1089 pg.

Epstein, Paul R., Jonathan J. Buonocore, Kevin Eckerle, Michael Hendryx, Benjamin M. Stout III, Richard Heinberg, Richard W. Clapp, Beverly May, Nancy L. Reinhart, Melissa M. Ahern, Samir K. Doshi, and Leslie Glustrom, 2011, Full Cost Accounting for the Life Cycle of Coal; *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1219 (2011) 73–98; New York Academy of Sciences.

Ferguson, K.D., and Leask, S.M. 1988. *The Export of Nutrients from Surface Coal Mines*, Environment Canada Regional Program Report 87-12, dated March, 1988, 127 p.

Fierro Morales, Julio (Compilador), Contraloría General de la República, Colombia and Robert Moran, 2014 (April), Análisis intersectorial sobre la minería de carbón en el departamento del Cesar; Un enfoque desde la perspectiva del riesgo; p. 43—161 in *Minería en Colombia: Control público, memoria y justicia socio-ecológica, movimientos sociales y posconflicto*; Vol. 4, Ch. 1, 494 pgs. [https://redjusticiaambientalcolombia.files.wordpress.com/2014/08/libro-mineria\\_contraloria\\_vol-iv.pdf](https://redjusticiaambientalcolombia.files.wordpress.com/2014/08/libro-mineria_contraloria_vol-iv.pdf)

Freeze, R.A. and J.A. Cherry, 1979, *Groundwater*; Prentice-Hall, 604 pg.

Golder Assoc., 2011(Dec.19), *Guidance Document on Water and Mass Balance Models for the Mining Industry*; Submitted to: Yukon Government, Whitehorse, YK; 248 pg.  
[http://www.env.gov.yk.ca/publications-maps/documents/mine\\_water\\_balance.pdf](http://www.env.gov.yk.ca/publications-maps/documents/mine_water_balance.pdf)

Hem, John, 1985, *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Waters*, 3rd Edit.; U.S.G.S. Water-Supply Paper 2254, 264 pg.  
<http://pubs.usgs.gov/wsp/wsp2254/>

ICMM (International Council on Metals & Mining), 2010, *Health Impact Assessment: summary of the good practice guidance*; 6pg.  
<https://www.icmm.com/publications/health-impact-assessment-summary-of-the-good-practice-guidance>

ICMM (International Council on Metals & Mining), 2012 (May), *Water Management in Mining: a Selection of Case Studies*, 32 pg.; <https://www.icmm.com/www.icmm.com/water-case-studies>

Ingeominas. (2004). *El Carbón Colombiano, Recursos, Reservas y Calidad*. Bogotá: Publicaciones Ingeominas y Minercol.

Kuipers, James, 2003 (Mar.), *Financial Assurance for Mine Reclamation and Closure: Putting a Price on Mine Pollution*; MPC Issue Paper No. 4, Earthworks, Wash., D.C., 56 pg.  
<http://www.earthworksaction.org/files/publications/PuttingAPriceOnPollution.pdf>

Lewis, S.J., 1906, *Quality of water in the Upper Ohio River Basin and at Erie, Pennsylvania*: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 161, 114 p.

Luoma, S.N., 1983, *Bioavailability of Trace Metals to Aquatic Organisms--a Review*; [The Science of the Total Environment](#), Vol. 28:1-22.

Moran, R.E. and D.A. Wentz, 1974. *Effects of metal-mine drainage on water quality in selected areas of Colorado, 1972-1973*. Colorado Water Conservation Board. Water Resources Circular No. 25, 250 pp.  
<http://co.water.usgs.gov/publications/pubnonusgs.html>  
<http://uppergunnisonwaterdocs.com/documents/Water%20Quality-%20Mining/Water%20Quality-%20Mining-03.pdf>

Moran, R.E., 1976. *Geochemistry of Selenium in Groundwater near Golden, Jefferson County, Colorado*. Abstracts with Programs, Geological Society of America. 1976 Annual Meeting. November 8-11, 1976. 8(6):1018.

Moran, Robert E., 2011, *Thompson Divide Baseline Water Quality Report*; prepared for the Thompson Divide Coalition, Aspen, CO. Available by contacting either Thompson Divide Coalition or the Roaring Fork Conservancy. <http://www.roaringfork.org/sitepages/pid372.php>

Moran, Robert, 2007 (September), Pebble Hydrogeology and Geochemistry Issues; submitted to Renewable Resource Coalition, Anchorage, Alaska. Available at:  
<http://www.renewableresourcescoalition.org/MoranSep07.pdf>  
<http://www.savebristolbay.org/atf/cf/%7BE729E68D-22F3-4596-9503-54FE676F2264%7D/MoranSep07.pdf>

Moran, Robert E., 2012. The Conga Mine, Peru: Comments on the Environmental Impact Assessment (EIA) and Related Issues. El Proyecto Minero Conga, Perú: Comentarios al Estudio de Impacto Ambiental (EIA) y Temas Relacionados. Prepared for Environmental Defender Law Center (U.S.A). <http://derechoshumanos.pe/2012/03/informe-sobre-eia-proyecto-conga/>  
<http://es.scribd.com/doc/84536894/Proyecto-Conga-Comentarios-al-EIA-y-Temas-Relacionados-Por-Robert-E-Moran>  
<http://es.scribd.com/yese2103/d/85066269-Peru-Conga-REM-Rept-English-March-8>.

Morin, Kevin A. and Nora M. Hutt, 2009, Mine-Water Leaching of Nitrogen Species from Explosive Residues; GeoHalifax2009/GéoHalifax2009, p. 1549-1553.

Reimer, Peter Samuel, 1988, ENVIRONMENTAL EFFECTS OF MANGANESE AND PROPOSED FRESHWATER GUIDELINES TO PROTECT AQUATIC LIFE IN BRITISH COLUMBIA; B.Sc. (Agriculture) Thesis, University of British Columbia.  
<http://www.env.gov.bc.ca/wat/wq/BCguidelines/manganese/index.html#TopOfPage>

Rose, Arthur, W., H.E. Hawkes and J.S. Webb, 1979, Geochemistry in Mineral Exploration, 2<sup>nd</sup> Edit., Academic Press, London, 657 pg.

Sams III, James I. and Kevin M. Beer, 2000, Effects of Coal-Mine Drainage on Stream Water Quality in the Allegheny and Monongahela River Basins—Sulfate Transport and Trends; NATIONAL WATER-QUALITY ASSESSMENT PROGRAM; Water-Resources Investigations Report 99-4208, 230 pg.

Septoff, Alan, December 2006, Predicting Water Quality Problems at Hardrock Mines: A Failure of Science, Oversight and Good Practice. Earthworks, Washington, D.C. Available at: <http://www.mineaid.org/predictions/PredictionsComparisonsWhitePaperFINAL.pdf>, and <http://www.earthworksaction.org/pubs/PredictionsComparisonsWhitePaperFINAL.pdf>

Sistema de Información Minero Colombiano, [www.simco.gov.co](http://www.simco.gov.co) (information from 2011).

Stephens, Carolyn & Mike Ahern, 2001 (Nov.), Worker and Community Health Impacts Related to Mining Operations Internationally: A Rapid Review of the Literature; November 2001; MMSD (Mining, Minerals and Sustainable Development), No. 25, 59 pg.

Swaine, D. J., F. Goodarzi, 1995, Environmental Aspects of Trace Elements in Coal. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Trucost, 2013 (Apr.), Natural capital at Risk: The Top 100 Externalities of Business; TEEB for Business Coalition, 43 pg.  
[http://www.teebforbusiness.org/js/plugins/filemanager/files/TEEB4BC\\_press\\_release\\_web\\_15\\_04\\_13\\_final.pdf](http://www.teebforbusiness.org/js/plugins/filemanager/files/TEEB4BC_press_release_web_15_04_13_final.pdf)

U.S. Dept. of Interior, Bureau of Land Management, and Montana Dept. of Environmental Quality, August 1995, Zortman and Landusky Mines Draft Environmental Impact Statement, Wash. D.C.

U.S. Dept. of Interior, Bureau of Land Management, and Montana Dept. of Environmental Quality, March 1996, Zortman and Landusky Mines Final Environmental Impact Statement, Wash. D.C.

U.S. Energy Information Administration, 2009, International Energy Outlook (DOE/EIA-0484). Washington, U.S. Department of Energy.

U. S. Geological Survey, variously dated, National Field Manual for the Collection of Water-quality Data: U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, book 9, chaps. A1-A9, available online at: <http://pubs.water.usgs.gov/twri9A>.

U. S. Government Accountability Office (GAO), 2008, HARDROCK MINING: Information on Abandoned Mines and Value and Coverage of Financial Assurances on BLM Land; Testimony Before the Committee on Energy and Natural Resources, U.S. Senate, by Robin M. Nazzaro, Director Natural Resources and Environment, Mar. 12, 2008, 33 pg.

U.S. EPA, 2004, National Whole Effluent Toxicity (WET) Implementation Guidance Under the NPDES Program; EPA 832-B-04-003; 109 pg.

US EPA, 2008, Technical Report on Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials from Uranium Mining, Volume 1: Mining and Reclamation Background: Previously published on-line and printed as Vol. 1 of EPA 402-R-05-007, January 2006, Updated June 2007 and printed April 2008 as EPA 402-R-08-005, Pg. 3- 10.  
<http://www.epa.gov/rpdweb00/docs/tenorm/402-r-08-005-voli/402-r-08-005-v1.pdf>

van Krevelen, D.W., 1963, Geochemistry of Coal, *in* Organic Geochemistry, p. 183-247, edited by Irving A. Breger, International series of Monographs on Earth Sciences, No. 16, Pergamon Press.

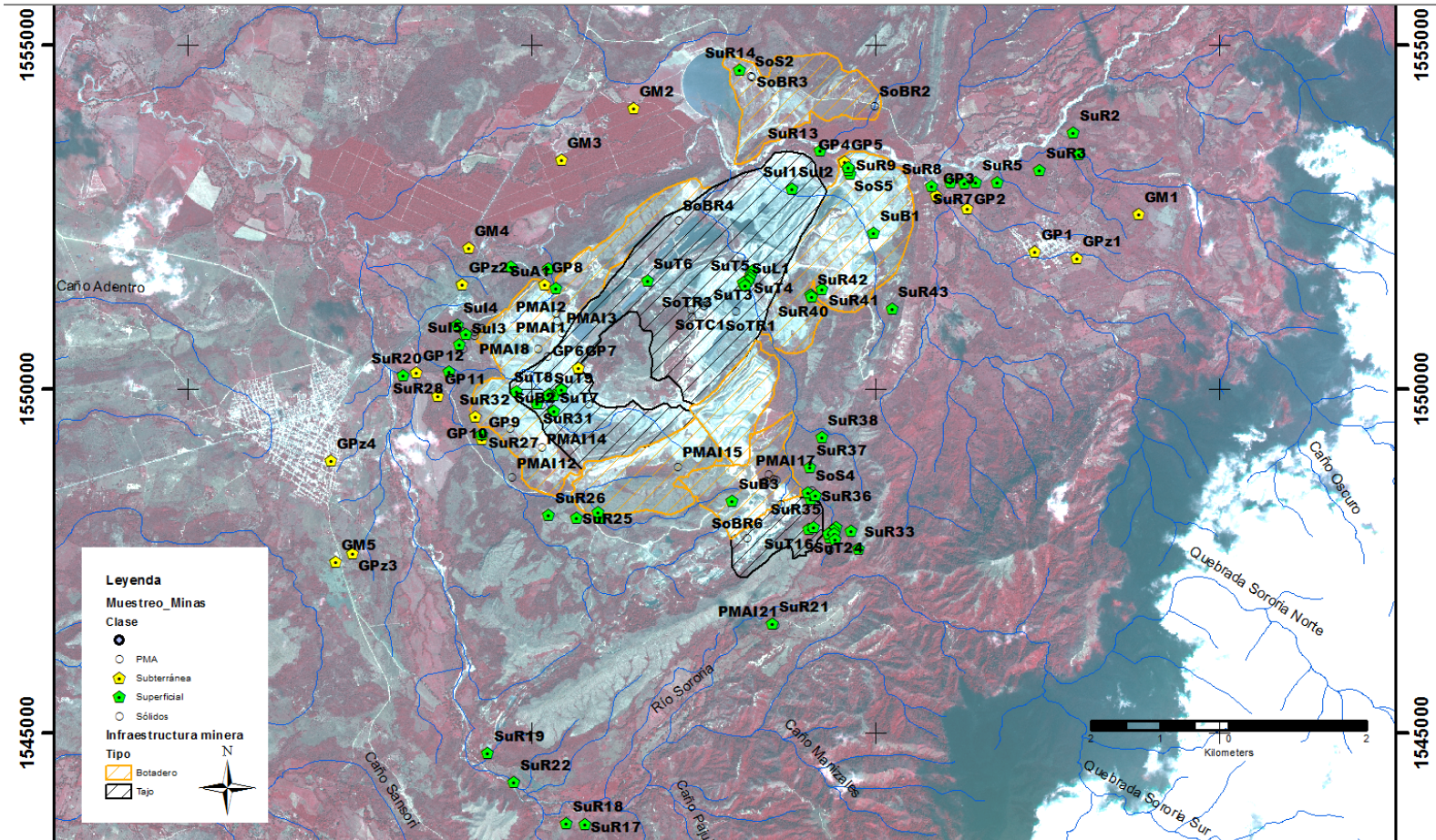
Wentz, Dennis A., 1974, Effect of Mine Drainage on the Quality of Streams in Colorado, 1971-1972; Colorado Water Resources Circular No. 21; 117 pg. plus Plates.

Western Australia (Government of), 2010 (Dec.), Policy Options for Mining Securities in Western Australia: Preliminary Discussion Paper; Dept. of Mine and Petroleum, 33pg.

World Coal Association (2012). "Coal Statistics." Retrieved August 2013, from [www.worldcoal.org/resources/coal-statistics](http://www.worldcoal.org/resources/coal-statistics).

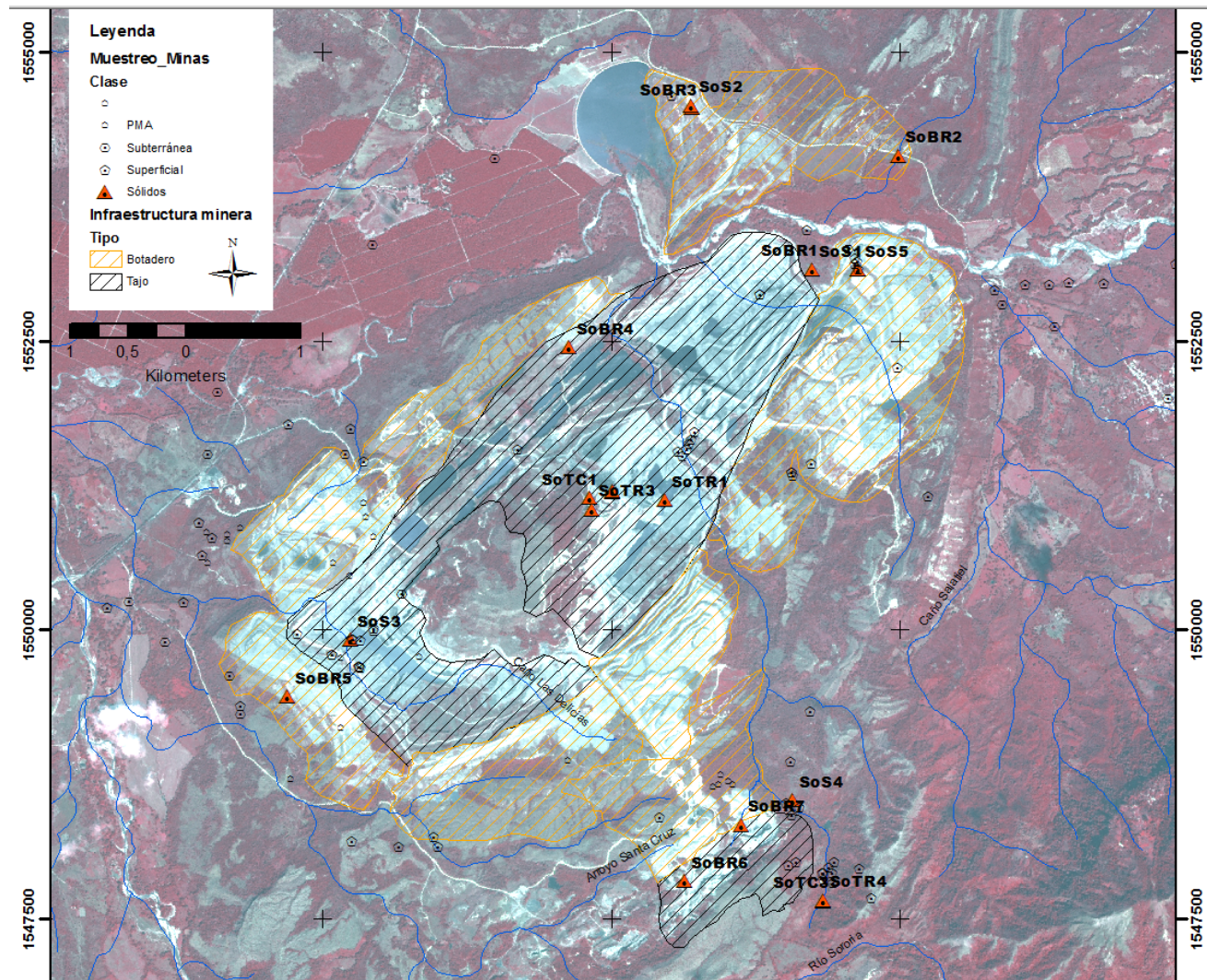


## Anexo 1 - Carbones de La Jagua (CDJ) y Norcarbón



**Figura 1-1.** Mapa de localización de los puntos de muestreo de aguas subterráneas y superficiales en las minas de CDJ y Norcarbón, Departamento del Cesar.





**Figura 1-2.** Mapa de localización de los puntos de muestreo de rocas y sedimentos en la mina CDJ y Norcarbón, Departamento del Cesar.

**Tabla 1-1.** Localización de las muestras de aguas superficiales y subterráneas, y sólidos (rocas, sedimentos y carbón) colectadas por la CGR entre el 24– 27 de junio de 2013 en las minas CDJ y Norcarbón.

Código de muestra	Lugar de muestreo	Coordenadas (Magna Colombia Bogotá)	
		Este	Norte
GM1	Manantial afluente del caño Lajas - en el corregimiento Victoria de San Isidro	1.093.831	1.552.543
GM2	Manantial de la hacienda Tucuy en el caño Casa Blanca	1.086.490	1.554.077
GM3	Manantial en Cultivo de palmas al oriente de la vía nacional.	1.085.437	1.553.330
GM4	Manantial en predio del señor Héctor Alfonso García Villalobos	1.084.089	1.552.056
GM5	Manantial afluente del caño Salsipuedes - 1km Al sur del casco urbano de la Jagua.	1.082.152	1.547.488
GP1	Piezómetro 28 mina la Jagua? Predio La Tranquilidad Dr Abel García Cadena.	1.092.325	1.552.001
GP2	Predio Hato Poder de Dios	1091341	1552622
GP3	Margen Izquierda del río Tucuy.	1.090.893	1.552.818
GP4	Piezómetro 33 mina La Jagua	1.089.553	1.553.300
GP5	Piezómetro 33 mina La Jagua	1.089.553	1.553.300
GP6	Piezómetro 41 mina La Jagua	1.085.688	1.550.304
GP7	Piezómetro 41 mina La Jagua	1.085.688	1.550.304
GP8	Piezómetro 36 mina La Jagua	1.085.200	1.551.521
GP9	Piezómetro 3 mina Norcarbón	1.084.286	1.549.271
GP10	Piezómetro 2 mina Norcarbon	1.084.194	1.549.601
GP11	Piezómetro 1 mina Norcarbon	1.083.638	1.549.896
GP12	Piezómetro 38 de la mina La Jagua Sobre vía principal La Jagua - valledupar - 100 mts despues del río Sororia	1.083.328	1550237
GA2	Aljibe de la Finca Rancho Grande	1.084.004	1.551.522
GA3	Aljibe a 1km Al sur del casco urbano de la Jagua.	1.082.402	1.547.611
GA4	Aljibe En el casco urbano de La Jagua.	1.082.095	1.548.952
SuR1	Medición 1 Río Tucuy	1.092.962	1.553.419
SuR2	Medición 2 Río Tucuy	1.092.884	1.553.723
SuR3	Medición 3 Río Tucuy	1.092.391	1.553.174
SuR4	Medición 4 Río Tucuy	1.091.768	1.553.003
SuR5	Brazo derecho del Río Tucuy	1.091.468	1.553.008
SuR6	Medición 5 Río Tucuy	1.091.292	1.552.991
SuR7	Inicio río Tucuy	1.091.092	1.552.997
SuR8	Entrada río salatiel al río Tucuy	1.090.822	1.552.943
SuR9	Aguas arriba descarga caño Canime	1.089.628	1.553.194
SuR10	Vertimiento al río Tucuy - canime salida	1.089.638	1.553.123
SuR11	Puente Río Tucuy Aguas Arriba	1.089.609	1.553.175
SuR12	Margen derecha Río Tucuy aguas abajo	1.089.611	1.553.220
SuR13	Botadero Santa Fe - descarga margen derecha río Tucuy	1.089.197	1.553.465
SuR14	Descarga reservorio - Cultivo de Palma DANIE	1.088.025	1.554.633
SuR15	Quebrada proveniente de la mina y descarga al río Tucuy - cuerpo de agua antes del cierre (brazo izquierdo)	1.085.246	1.551.748
SuR15	Medición 1 Río Tucuy	1.092.962	1.553.419
SuR16	Cierre río Tucuy	1.084.706	1.551.782
SuR17	Brazo derecho aporte Caño NN Aporte Río Sororia - Norcarbón	1.085.777	1.543.673
SuR18	Bocatoma Acueducto La Jagua - Norcarbón	1.085.510	1.543.689
SuR19	Río Sororia debajo de la Desembocadura caño "Santiago" - Norcarbón	1.084.364	1.544.708
SuR20	Río Sororia Puente vía Nacional - Norcarbón	1.083.138	1.550.193
SuR22	Drenaje Natural (Caño Santiago por confirmar) - Norcarbón	1.088.506	1.546.584
SuR23	Río "Santiago" vía bocatoma - Norcarbón	1.084.744	1.544.283
SuR24	Arroyo (Para Luz) Santa Cruz	1.085.997	1.548.125
SuR25	Drenaje CDJ - Arroyo Santa Cruz - Mina Norcarbón	1.085.967	1.548.210
SuR26	Arroyo Santa Cruz - Mina Norcarbón	1.085.656	1.548.122
SuR27	Arroyo Santa Cruz - Mina Norcarbón	1.085.253	1.548.169

Código de muestra	Lugar de muestreo	Coordenadas (Magna Colombia Bogotá)	
		Este	Norte
SuR28	Norcarbón	1.084.290	1.549.341
SuR29	Aguas abajo desembocadura Delicias - al Arroyo Santa Cruz	1.083.800	1.550.246
SuR31	Antiguo Caño Las Delicias antes de Vertimiento bombeo TajoSur - Mina La Jagua	1.085.439	1.549.996
SuR32	Vertimiento Antiguo Cauce Las Delicias - Mina La Jagua	1.085.084	1.549.791
SuR33	Punto de vertimiento bombeo TajoSur	1.085.084	1.549.790
SuR33	Antiguo caño Las Delicias Mina La Jagua	1.089.063	1.548.399
SuR34	Vertimiento Canales Perimetrales (Botadero antigua al lado del Canime) - Norcarbón	1.089.017	1.548.500
SuR37	Punto de Vertimiento al Caño Canime - Norcarbón	1.089.129	1.548.460
SuR38	Caño Canime al lado de la laguna Canime - Norcarbón	1.089.052	1.548.863
SuR39	Caño Canime Aguas Abajo - Norcarbón	1.089.223	1.549.298
SuR40	Caño Canime - Mina La Jagua	1.089.063	1.551.363
SuR42	CDJ	1.089.068	1.551.366
SuR43	CDJ	1.089.231	1.551.445
SuA1	Acopio las Flores - Mina La Jagua	1.085.742	1.550.941
SuB1	Botadero Oriental Canal Canime. Agua proveniente de botadero. - Mina La Jagua	1.089.981	1.552.272
SuB2	Descarga escorrentía botadero Las Cumbres - Mina La Jagua	1.085.443	1.550.014
SuB3	toma in situ botadero Lote nuevo próximo acopio - Norcarbón	1.087.923	1.548.378
SuT1	Fondo de la mina La Jagua Tajonorte	1.088.222	1.551.721
SuT2	Agua de fondo de mina del Tajonorte de la mina La Jagua	1.088.196	1.551.655
SuT3	Agua de fondo de mina del Tajonorte de la mina La Jagua	1.088.175	1.551.614
SuT4	Agua de fondo de mina del Tajonorte de la mina La Jagua	1.088.153	1.551.569
SuT5	Agua de fondo de mina del Tajonorte de la mina La Jagua	1.088.083	1.551.551
SuT6	Toma In situ de aguas bombeadas del TajoNorte por Mangueras	1.086.692	1.551.568
SuT7	Agua que cae de Cuello de Ganzo en la margen occidental del TajoSur Mina La Jagua.	1.085.326	1.549.911
SuT8	Punto de descarga de aguas del TajoSur - Mina La Jagua	1.085.264	1.549.923
SuT9	Descarga TajoSur	1.085.254	1.549.918
SuT10	fondo de mina del Tajosur de la mina la Jagua	1.085.314	1.549.679
SuT11	fondo de mina del Tajosur de la mina la Jagua	1.085.324	1.549.682
SuT12	Segunda medición hecha en el fondo de mina del Tajosur de la mina la Jagua.	1.085.324	1.549.680
SuT13	Fondo de la mina La Jagua Tajosur	1.085.324	1.549.680
SuT14	Llegada de curso de agua superficial al Tajosur Mina La Jagua	1.085.331	1.549.674
SuT15	Laguna cercana al TajoNorte de Norcarbon	1.089.035	1.547.958
SuT16	Laguna cercana al TajoNorte de Norcarbon	1.089.103	1.547.995
SuT17	Agua de fondo de mina del Tajonorte de la mina Norcarbón	1.089.432	1.547.989
SuT18	Agua de fondo de mina del Tajonorte de la mina Norcarbón	1.089.387	1.547.944
SuT19	Fondo de la mina Norcarbon Tajonorte	1.089.342	1.547.899
SuT20	Curso de agua que atraviesa superficialmente un botadero y cae en el Tajonorte de la mina Norcarbón.	1.089.340	1.547.839
SuT21	Laguna TajoNorte Profundo (3) - Norcarbón	1.089.329	1.547.898
SuT22	Laguna TajoNorte Profundo (2) - Norcarbón	1.089.410	1.547.895
SuT23	Laguna TajoNorte Profundo (1) - Norcarbón	1.089.423	1.547.811
SuT24	Laguna cercana al Tajo de Norcarbon	1.089.648	1.547.931
SuI5	Lavado de Llantas - Mina La Jagua	1.083.958	1.550.648
SuI1	Bombeo aluvión (1) - Mina La Jagua	1.088.792	1.552.909
SuI2	Bombeo aluvión (2) - Mina La Jagua	1.088.792	1.552.909
SuI3	Entrada Laguna 5	1.084.046	1.550.803
SuI4	Descarga laguna 5 mina La Jagua	1.083.929	1.550.930
SuL1	Curso de agua de botadero que llega al Tajonorte de La Jagua	1.088.116	1.551.512



**Tabla 1-2. Parámetros físico-químicos de muestras de agua superficial recolectadas en las minas CDJ – Norcarbón por la CGR en junio de 2013 por la CGR.**

Cód.	Temp. agua Campo (°C)	pH	pH (Lab)	Cond.	Cond. 25 °C (Lab)	SDT	SST	Turbiedad	Sólidos Sedimentables	Acidez	Alcalinidad Total	Dureza Total	Dureza Cálcica	Ca total	Mg total	K total	Na total	Carbonatos	Bicarbonatos
		Campo	Electrométrico SM-4500 H+B	Campo	Laboratorio SM-2510 B	SM 2540 B-D	SST Secado a 103-105 C SM 2540 D	Nefelométrico SM-2130 B	Sólidos Sedimentables SM-2540 F	Titulométrico SM - 2310 B	Titulométrico SM-2310 B	Titulométrico EDTA SM-2340 C	Volumétrico 3500-Ca-B	ICP SM-3120 Ca B	ICP SM-3120 Mg B	ICP SM-3120 Mo B	ICP SM-3120 Na B		
			0,1		(µs/cm)	(µs/cm)	mg/L	mg/L	UNT	ml/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
SuR1	31,8	8,5	-	242	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuR2	32,2	8,6	-	244	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuR3	33,0	8,6	-	240	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuR4	33,9	8,7	-	232	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuR5	27,4	8,1	-	227	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuR6	30,6	8,3	-	241	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuR7	26,4	8,0	8,0	240	247	166	30	4,3	1	1,9	115,1	111,66	95,42	44,34	4,048	0,300	7,169	N.D.	115
SuR8	27,9	7,9	8,0	302	304	205	4	0,5	0	2,0	146,5	146,28	127,08	52,99	5,194	0,538	9,347	N.D	147
SuR9	27,0	8,3	8,1	270	274	179,5	15	1,2	N.D.	1,8	144,2	129,2	110,86	48,76	5,181	0,204	7,409	N.D	144
SuR10	30,0	8,1	7,8	2.420	2.650	2642	82	81,0	N.D.	17,3	371,8	1440,8	513,4	254,42	223,597	0,144	176,712	N.D	372
SuR11	28,0	7,8	-	198	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuR12	26,6	7,7	-	193	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuR13	28,9	7,9	8,0	1.080	1.095	880	38	37,0	N.D.	3,9	225,8	460,4	243,8	104,50	53,910	0,210	78,754	N.D	226
SuR14	31,8	7,7	8,3	407	416	321	7	6,5	N.D.	N.D.	112,2	193,2	113,75	46,57	19,109	12,203	16,948	N.D	112
SuR15	30,4	7,6	8,1	604	558	403	10	6,2	0	N.D.	228,3	223	147,65	69,20	20,043	11,014	30,738	N.D	228
SuR15	30,4	7,6	8,1	604	558	403	10	6,2	0	N.D.	228,3	223	147,65	61,12	19,741	2,006	26,262		
SuR16	29,0	8,2	8,2	415	428	318	15	10,0	0	3,1	203,5	177,15	127,6	58,58	14,578	0,347	15,504	N.D	204
SuR17	30,0	7,2	-	186	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuR18	31,4	8,5	-	198	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuR19	32,8	8,6	-	198	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuR20	36,6	8,7	-	186	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuR22	28,1	6,5	-	34,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuR23	30,4	8,3	8,2	1.126	1.204	1093	42	4,3	N.D.	N.D.	211,9	712,5	273,6	125,58	110,497	15,578	19,938	N.D	212
SuR24	33,0	8,0	8,0	2.290	2.410	2727	7	1,7	N.D.	N.D.	343,0	1565,8	378,6	271,24	249,055	0,305	46,762	N.D	343
SuR25	29,0	8,4	8,1	1.437	1.530	1446	60	69,8	N.D.	10,3	234,9	893	305,2	144,26	152,370	0,291	31,369	N.D	235
SuR26	27,0	8,2	8,0	703	885	731	61	53,4	0	6,5	161,9	510,2	200,2	84,80	76,048	1,472	13,752	N.D	162
SuR27	29,1	6,7	-	171	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuR28	31,0	8,1	8,1	750	1.130	1072	61	64,0	N.D.	1,1	124,0	433,5	228,9	98,78	81,762	10,335	53,341	N.D	124
SuR29	29,8	7,9	-	2.880	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuR31	32,6	8,1	8,0	1.938	2.070	2106,8	5	3,9	-	1,0	110,2	993	402,2	176,08	147,555	26,226	163,161	N.D	110
SuR32	31,3	8,4	8,1	2.007	2.120	2050	8	3,2	N.D.	1,2	122,4	730,4	410	181,10	146,692	24,401	165,774	N.D	122
SuR33	26,8	8,0	7,6	619	641	457	6	2,0	N.D.	6,6	96,0	304,3	232,55	120,31	19,280	0,274	19,280	N.D	96
SuR33	26,8	8,0	7,6	619	641	457	6	2,0	N.D.	6,6	96,0	304,3	232,55	112,70	17,672	1,994	6,541		
SuR34	33,7	8,0	-	2.060	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuR37	34,0	7,7	-	1.247	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Cód.	Temp. agua Campo (°C)	pH	pH (Lab)	Cond.	Cond. 25 °C (Lab)	SDT	SST	Turbiedad	Sólidos Sedimentables	Acidez	Alcalinidad Total	Dureza Total	Dureza a Cálcica	Ca total	Mg total	K total	Na total	Carbonatos	Bicarbonatos	
		Campo	Electrométrico SM-4500 H+B	Campo	Laboratorio SM-2510 B	SM 2540 B-D	SST Secado a 103-105 C SM 2540 D	Nefelométrico SM-2130 B	Sólidos Sedimentables SM-2540 F	Titulométrico SM - 2310 B	Titulométrico SM-2310 B	Titulométrico EDTA SM-2340 C	Volumétrico 3500-Ca-B	ICP SM-3120 Ca B	ICP SM-3120 Mg B	ICP SM-3120 Mo B	ICP SM-3120 Na B			
			0,1	(µs/cm)	(µs/cm)	mg/L	mg/L	UNT	ml/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
SuR38	-	8,3	8,1	1.075	1.222	1176	1	1	0,05	0,5	1	1	0,5	0,5	0,01	0,001	0,005	0,005		
SuR39	30,0	8,3	-	1.309	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuR40	29,6	6,4	-	2.900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuR42	28,7	8,3	-	3.130	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuR43	31,5	6,8	-	338	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuA1	28,3	7,0	-	2.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuB1	31,0	6,8	-	3.220	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuB2	31,3	7,7	7,9	3.120	3.310	3958	19	32,0	N.D.	18,2	401,6	2280,4	701	309,31	319,810	0,213	81,252	N.D	402	
SuB3	34,3	6,9	-	793	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuT1	31,1	7,3	7,9	3.160	3.340	2909	63	56,1	-	3,8	462,8	848,4	297,4	170,63	135,119	0,514	666,734	N.D	463	
SuT2	30,7	7,7	-	3.080	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuT3	30,8	7,9	-	2.790	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuT4	30,3	7,9	-	2.850	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuT5	30,2	7,8	-	2.880	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuT6	31,4	7,9	-	3.140	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuT7	30,1	7,9	-	1.900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuT8	31,0	-	-	1.900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuT9	31,0	8,0	-	1.959	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuT10	31,2	7,7	-	1.945	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuT11	31,1	7,6	-	1.923	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuT12	31,1	7,7	-	1.801	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuT13	33,2	7,5	7,7	110	2.100	2011	4	2,7	-	43,3	721,1	970	398,8	166,35	151,157	62,430	175,999	N.D	721	
SuT14	29,6	3,6	-	2.110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuR14	31,8	7,7	8,3	407	416	321	7	6,5	N.D.	N.D.	112,2	193,2	113,75	42,02	17,937	3,173	14,294	-	-	
SuT15	38,0	8,5	-	960	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuT16	35,0	2,3	-	2.130	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuT17	29,9	7,5	-	1.556	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuT18	30,4	7,5	-	1.550	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuT19	30,1	7,4	7,9	1.615	1.703	1605	7	0,9	-	2,3	117,6	1029	552,2	241,15	120,709	0,351	29,559	N.D	118	
SuT20	29,1	8,0	-	3.140	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuT21	31,1	7,3	-	1.570	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuT22	36,5	8,3	-	2.020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuT23	32,1	7,4	-	1.594	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SuT24	33,5	2,6	-	2.200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sul5	29,0	-	-	1.254	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sul1	27,4	7,1	-	566	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sul2	28,8	7,4	-	612	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sul3	28,3	7,5	-	789	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sul4	31,7	7,4	7,9	573	577	427	15	19,6	0	5,5	824,0	257,4	129,05	55,92	32,594	0,361	19,156	N.D	824	

Cód.	Temp. agua Campo (°C)	pH	pH (Lab)	Cond.	Cond. 25 °C (Lab)	SDT	SST	Turbiedad	Sólidos Sedimentables	Acidez	Alcalinidad Total	Dureza Total	Dureza a Calcio	Ca total	Mg total	K total	Na total	Carbonatos	Bicarbonatos
		Campo	Electrométrico SM-4500 H+B	Campo	Laboratorio SM-2510 B	SM 2540 B-D	SST Secado a 103-105 C SM 2540 D	Nefelométrico SM-2130 B	Sólidos Sedimentables SM-2540 F	Titulométrico SM - 2310 B	Titulométrico SM-2310 B	Titulométrico EDTA SM-2340 C	Volumétrico 3500-Ca-B	ICP SM-3120 Ca B	ICP SM-3120 Mg B	ICP SM-3120 Mo B	ICP SM-3120 Na B		
			0,1	(µs/cm)	(µs/cm)	mg/L	mg/L	UNT	ml/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
SuL1	32,0	7,3	8,1	2.400	2.790	2316	18	10,0		N.D.	378,9	279,8	81,8	71,47	50,418	0,390	681,600	N.D	379

N.D. No detectable, concentración por debajo del límite de detección.

**Tabla 1-2. Continuación. Parámetros físico-químicos de muestras de agua superficial recolectadas en las minas CDJ – Norcarbón por la CGR en junio de 2013.**

**Tabla 1-2. Parámetros físico-químicos de muestras de agua superficial recolectadas en las minas CDJ – Norcarbón por la CGR en junio de 2013.**

Cód.	Cloruros	Sulfatos	Sulfuros Totales	meq/l Aniones	meq/l Cationes	BI %	Al Total	Sb Total	As Total	Ba Total	B Total	Be Total	Cd Total	Co Total	Cu Total	Cr Total	Sn Total	Fe Total	Li Total	Mn Total	Hg Total	Mo Total		
	Potenciometría SM-4500 Cl D	Turbidimétrico SM-4500 SO <sub>4</sub> = E	Iodométrico SM-4500 S= F				ICP SM-3120 Al B	ICP SM-3120 Sb B	ICP SM-3120 As B	ICP SM-3120 Ba B	ICP SM-3120 B B	ICP SM-3120 Be B	ICP SM-3120 Cd B	ICP SM-3120 Co B	ICP SM-3120 Cu B	ICP SM-3120 Cr B	ICP SM-3120 Sn B	ICP SM-3120 Fe B	ICP SM-3120 Li B	ICP SM-3120 Mn B	Absorción Atómica, vapor frío 3112-B-Hg	ICP SM-3120 Mo B		
	mg/L	mg/L	mg/L				mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	0,9	1	0,1				0,0005	0,003	0,0006	0,0002	0,0002	0,004	0,0035	0,004	0,0005	0,002	0,0025	0,002	0,004	0,001	0,00025	0,00025		
SuR7	2,3	27	0,4	2,9	2,5	6,6	0,0565	N.D.	N.D.	0,0086	0,0174	N.D.	N.D.	0,046	N.D.	N.D.	N.D.	0,797	N.D.	0,018	N.D.	0,0043		
SuR8	2,8	25	N.D.	3,5	3,0	7,5	0,0318	N.D.	0,0008	0,0077	0,0290	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,125	N.D.	0,027	N.D.	0,0060		
SuR9	1,9	19	N.D.	3,2	2,8	6,4	0,0819	N.D.	N.D.	0,0079	0,0215	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,252	N.D.	0,010	N.D.	0,0052		
SuR10	1,0	1777	0,2	38,8	43,1	-5,3	0,5090	N.D.	0,0008	0,0693	0,0399	N.D.	N.D.	0,010	N.D.	N.D.	N.D.	1,555	0,118	0,681	N.D.	0,0045		
SuR13	2,2	414	0,1	13,1	12,4	2,7	0,0283	N.D.	0,0006	0,0320	0,0438	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,478	0,034	0,179	N.D.	0,0049		
SuR14	1,3	91	N.D.	4,9	3,8	13,5	0,0891	N.D.	N.D.	0,0162	0,0385	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,146	0,007	0,135	N.D.	0,0056		
SuR15	2,0	105	N.D.	6,7	6,0	5,9	0,0905	N.D.	N.D.	0,0218	0,0310	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,289	0,007	0,283	N.D.	0,0087		
SuR15			N.D.				0,2909	N.D.	N.D.	0,0317	0,0456	N.D.	N.D.	N.D.	0,002	N.D.	0,01280	0,357	0,006	0,369		0,0129		
SuR16	2,1	58	N.D.	4,8	4,6	2,1	0,0021	N.D.	N.D.	0,0141	0,0257	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,078	0,005	0,024	N.D.	0,0053		
SuR23	N.D.	620	N.D.	16,6	16,4	0,8	0,1869	N.D.	N.D.	0,0168	0,0624	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1,067	0,025	0,250	N.D.	0,0014		
SuR24	N.D.	1568	0,3	36,1	38,3	-3,0	0,0042	N.D.	0,0006	0,0277	0,0303	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,654	0,068	0,271	N.D.	0,0011		
SuR25	N.D.	945	0,1	21,1	23,5	-5,4	0,2592	N.D.	N.D.	0,0239	0,0602	N.D.	N.D.	0,017	N.D.	N.D.	N.D.	1,451	0,037	0,213	N.D.	0,0015		
SuR26	N.D.	409	N.D.	11,1	11,2	-0,2	0,1356	N.D.	N.D.	0,0163	0,0623	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,582	0,017	0,082	N.D.	0,0011		
SuR28	N.D.	622	0,6	14,2	15,0	-2,5	0,1795	N.D.	N.D.	0,0354	0,0529	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,04380	1,328	0,041	0,149	N.D.	0,1491		
SuR31	N.D.	1362	0,3	28,7	30,2	-2,5	0,0737	N.D.	0,0059	0,0841	0,0392	N.D.	N.D.	0,007	N.D.	N.D.	0,00680	0,204	0,113	0,523	N.D.	0,5234		
SuR32	N.D.	1429	N.D.	28,9	31,8	-4,6	0,0536	N.D.	N.D.	0,0803	0,0336	N.D.	N.D.	0,005	N.D.	N.D.	0,11820	0,354	0,110	0,433	N.D.	0,4327		
SuR33	0,9	121	N.D.	8,4	4,1	34,3	0,0372	N.D.	0,0010	0,0040	0,0711	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,126	N.D.	0,022	N.D.	0,0061		
SuR33			N.D.				0,2005	N.D.	N.D.	0,0120	0,1350	N.D.	N.D.	N.D.	0,002	N.D.	0,0003	0,143	N.D.	0,031		0,0101		
SuR38	1,9	124	0,4	16,1	6,5	42,6	0,0850	N.D.	0,0010	0,0166	0,0702	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2,061	0,012	0,513	N.D.	0,0011		
SuB2	1,0	2695	0,2	45,3	62,7	-16,1	0,0022	N.D.	N.D.	0,0530	0,0254	N.D.	N.D.	0,007	N.D.	N.D.	N.D.	0,847	0,158	0,367	N.D.	0,0022		
SuT1	1,7	1801	0,3	48,6	45,1	3,7	0,4749	N.D.	0,0006	0,2080	0,0422	N.D.	N.D.	0,012	N.D.	N.D.	N.D.	0,841	0,255	0,711	N.D.	0,0180		
SuT13	1,0	137	N.D.	30,0	14,7	34,2	0,1454	N.D.	N.D.	0,0810	0,0361	N.D.	N.D.	0,082	N.D.	N.D.	0,00060	0,345	0,120	0,557	N.D.	0,0036		
SuR14			N.D.				0,260	N.D.	N.D.	0,0234	0,0333	N.D.	N.D.	N.D.	0,001	N.D.	N.D.	0,161	0,006	0,162		0,0085		
SuT19	N.D.	1185	N.D.	23,3	26,6	-6,7	N.D.	N.D.	0,0013	0,0220	0,0442	N.D.	N.D.	0,033	N.D.	N.D.	N.D.	0,177	N.D.	1,750	N.D.	0,0053		
SuI4	3,1	23	N.D.	6,3	14,1	-38,0	0,0129	N.D.	N.D.	0,0251	0,0296	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,208	0,006	0,087	N.D.	0,0006		
SuL1	N.D.	1200	0,5	37,4	31,2	9,0	0,0818	N.D.	N.D.	0,2032	0,0268	N.D.	N.D.	0,010	N.D.	N.D.	0,00090	0,299	0,181	0,609	N.D.	0,0744		

**N.D.** No detectable, concentración por debajo del límite de detección.

**Tabla 1-2. Parámetros físico-químicos de muestras de agua superficial recolectadas en las minas CDJ – Norcarbón por la CGR en junio de 2013**

Cód.	Ni Total	Pd Total	Ag Total	Pb Total	Se Total	Th Tot.	V Total	Zn Total	Si Total	Nitrat- os NO <sub>3</sub> -N	Nitri- tos NO <sub>2</sub> -N	N Kjeida hl Total	Amo nio N	Fluorur -os	P Total	Cianur o Total mg CN/L	O.D. O <sub>2</sub>	C Orgánic o Total	DBO s Total O <sub>2</sub>	DQO Total mg O <sub>2</sub> /L	Colifor- m-es Fecal es	Colifor- mes Totales	Q (l/s) cauda l
	ICP SM- 3120 Ni B	ICP SM- 3120 Al B	ICP SM- 3120 Ag B	ICP SM- 3120 Pb B	ICP SM- 3120 Se B	ICP SM- 3120 O TI B	ICP SM- 3120 V B	ICP SM- 3120 Zn B	ICP SM- 3120 Si B	Ácido Cromo trópico SM*- 418 D	Colori métric o SM- 4500 NO <sub>2</sub> B	Macro - Kjelda hl Total SM- 4500 Norg B	Titulo métri co SM- 4500 NH <sub>3</sub> E	Electro do Ion Selectiv o SM- 4500 F C	Colorim étrico Acido Ascorbi co SM- 4500 PE	Destilac ión- Colorim étrico SM- 4500 CN C- E	Modifi cación de Azida SM- 4500- O-C	Combust ión Alta Tempera tura SM- 5310 B	S.M. 5210 B- AST M D888 -09	Refluj o Abiert o SM - 5220 B	Filtro de Membra na Colifor mes Fecales SM 9222 D	Sustrato Enzimáti co Cuantitat ivo Colilert SM-9223 B	
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	UFC/100 mL	
	0,003	0,0005	0,0002	0,003	0,0015	0,002	0,0004	0,001	0,003	0,004	0,01	0,5	0,2	0,01	0,0088	0,001	0,3	0,2	1	5	1,00	1,00	
SuR7	N.D.	0,0032	0,0009	N.D.	N.D.	0,002	0,0019	0,007	8,183	N.D.	0,03	4,0	0,2	0,19	0,0925	N.D.	6,02	5,0	1	27,3	290,00	1120,00	861,9
SuR8	N.D.	N.D.	0,0002	N.D.	N.D.	0,012	0,0010	0,008	9,157	N.D.	0,04	0,6	N.D.	0,22	0,1023	N.D.	5,59	6,3	1	6,1	280,00	12960,00	198,8
SuR9	N.D.	N.D.	0,0010	N.D.	0,0071	0,013	0,0007	0,007	8,486	0,158	0,01	N.D.	N.D.	0,21	0,0794	0,001	9,30	4,7	N.D.	6,0	600,00	1119,90	948,8
SuR10	0,025	N.D.	0,0002	N.D.	0,0071	0,015	0,0012	0,014	5,908	0,182	0,13	0,8	0,5	0,27	0,1300	N.D.	4,99	15,2	N.D.	8,4	180,00	1986,30	12,9
SuR13	N.D.	N.D.	0,0007	N.D.	N.D.	0,013	0,0033	0,009	7,285	N.D.	0,03	1,3	N.D.	0,28	0,0511	N.D.	2,85	7,4	2	12,5	42000,00	1553100,00	305,7
SuR14	N.D.	0,0009	N.D.	N.D.	N.D.	0,015	N.D.	0,008	6,296	N.D.	0,01	1,0	N.D.	0,24	0,0429	N.D.	4,85	4,7	N.D.	11,9	59,00	7330,00	-
SuR15	N.D.	N.D.	0,0003	N.D.	N.D.	0,012	N.D.	0,012	8,094	N.D.	0,02	0,7	N.D.	0,27	0,0141	N.D.	4,81	7,0	N.D.	8,0	3000,00	13910,00	0,1
SuR15	N.D.	0,0028	N.D.	N.D.	N.D.	0,012	0,0025	0,009		N.D.	0,02	0,7	N.D.	0,27	0,0141	N.D.	4,81	7,0	N.D.	8,0	3000,00	13910,00	0,1
SuR16	N.D.	N.D.	0,0013	N.D.	N.D.	0,013	0,0013	0,006	8,182	N.D.	0,02	0,8	N.D.	0,23	0,0319	N.D.	7,38	5,3	N.D.	N.D.	300,00	19900,00	416,3
SuR23	0,005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,014	0,0004	0,009	3,557	N.D.	0,03	0,9	N.D.	0,26	0,0423	N.D.	8,55	6,0	N.D.	15,2	2000,00	17300,00	10,9
SuR24	0,005	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,013	N.D.	0,008	4,975	N.D.	0,02	0,9	N.D.	0,27	N.D.	N.D.	7,53	14,6	N.D.	6,1	450,00	15760,00	0,8
SuR25	0,006	N.D.	0,0012	N.D.	N.D.	0,012	N.D.	0,011	3,805	0,085	0,04	1,7	N.D.	0,28	0,1002	N.D.	6,91	10,5	1	5,7	2000,00	51720,00	21,4
SuR26	N.D.	0,0015	0,0010	N.D.	N.D.	0,011	0,0004	0,008	3,562	0,391	0,02	0,5	N.D.	0,29	0,0299	N.D.	7,89	6,4	1	13,5	920,00	1119,90	33,6
SuR28	0,008	0,0007	0,0015	N.D.	N.D.	0,012	0,0016	0,008	4,787	2,968	0,31	1,1	0,4	0,29	0,0945	N.D.	8,15	4,0	1	8,0	1400,00	31300,00	201,8
SuR31	0,026	0,0006	0,0012	0,005	0,0120	0,010	0,0016	0,010	3,938	8,136	0,68	1,6	1,1	0,29	0,0785	N.D.	7,50	4,2	N.D.	N.D.	3,00	870,40	
SuR32	0,022	N.D.	N.D.	N.D.	0,0115	0,013	0,0014	0,009	3,944	8,314	0,62	1,0	1,0	0,30	N.D.	N.D.	7,69	2,8	N.D.	N.D.	85,00	2330,00	179,4
SuR33	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0030	0,012	N.D.	0,005	3,610	0,239	0,01	0,8	N.D.	0,30	0,0106	N.D.	7,57	7,3	N.D.	N.D.	1000,00	13960,00	0,2
SuR33	N.D.	N.D.	0,0005	N.D.	N.D.	0,01	0,001	0,002		0,239	0,01	0,8	N.D.	0,30	0,0106	N.D.	7,57	7,3	N.D.	N.D.	1000,00	13960,00	0,2

Cód.	Ni Total	Pd Total	Ag Total	Pb Total	Se Total	Th Tot.	V Total	Zn Total	Si Total	Nitratos NO <sub>3</sub> -N	Nitritos NO <sub>2</sub> -N	N Kjeidahl Total	Amonio N	Fluoruros	P Total	Cianuro Total mg CN/L	O.D. O <sub>2</sub>	C Orgánico Total	DBO <sub>5</sub> Total O <sub>2</sub>	DQO Total mg O <sub>2</sub> /L	Coliformes Fecales	Coliformes Totales	Q (l/s) caudal
	ICP SM-3120 Ni B	ICP SM-3120 Al B	ICP SM-3120 Ag B	ICP SM-3120 Pb B	ICP SM-3120 Se B	ICP SM-3120 Th B	ICP SM-3120 V B	ICP SM-3120 Zn B	ICP SM-3120 Si B	Ácido Cromotrópico SM*-418 D	Colorimétrico SM-4500 NO <sub>2</sub> B	Macro-Kjeidahl Total SM-4500 Norg B	Título métrico SM-4500 NH <sub>3</sub> E	Electrodo Ion Selectivo SM-4500 F C	Colorimétrico Acido Ascórbico SM-4500 PE	Destilación-Colorimétrico SM-4500 CN C-E	Modificación de Azida SM-4500-O-C	Combustión Alta Temperatura SM-5310 B	S.M. 5210 B-AST M D888-09	Reflujo Abierto SM-5220 B	Filtro de Membrana Coliformes Fecales SM 9222 D	Sustrato Enzimático Cuantitativo Colilert SM-9223 B	
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	UFC/100 mL	NMP/100 mL	
	0,003	0,0005	0,0002	0,003	0,0015	0,002	0,0004	0,001	0,003	0,004	0,01	0,5	0,2	0,01	0,0088	0,001	0,3	0,2	1	5	1,00	1,00	
						0																	
SuR38	0,007	0,0020	N.D.	N.D.	N.D.	0,012	0,0019	0,010	5,208	0,447	0,03	0,6	N.D.	0,12	N.D.	N.D.	4,65	13,0	1	9,5	240,00	3654,00	3,4
SuB2	0,025	0,0005	N.D.	N.D.	N.D.	0,014	N.D.	0,016	6,636	N.D.	0,04	1,2	0,4	0,22	0,0326	N.D.	3,91	13,4	N.D.	N.D.	500,00	46110,00	0,1
SuT1	0,061	N.D.	0,0002	N.D.	0,0168	0,014	N.D.	0,015	5,073	7,884	1,02	1,1	1,9	0,32	0,4997			20,5		6,3	N.D.	488,40	
SuT13	0,031	0,0018	0,3504	N.D.	0,0127	0,015	N.D.	0,025	3,839	9,043	0,79	2,3	1,2	0,29	N.D.			5,2	1	7,7	72,00	435,20	3,2
SuR14	N.D.	N.D.	0,0002	N.D.	N.D.	0,012	0,0025	0,003		N.D.	0,01	1,0	N.D.	0,24	0,0429	N.D.	4,85	4,7	N.D.	11,9	59,00	7330,00	-
SuT19	0,138	0,0029	N.D.	N.D.	0,0610	0,015	0,0005	0,044	2,922	3,017	0,26	0,9	0,3	0,29	N.D.			4,0		N.D.	N.D.	47,30	
SuL4	N.D.	N.D.	0,0005	N.D.	N.D.	0,014	0,0005	0,006	1,193	N.D.	0,03	1,1	N.D.	0,33	0,0095	N.D.	6,07	4,9	1	13,6	90,00	8650,00	179,7
SuL1	0,035	0,0031	0,0013	N.D.	0,0140	0,013	N.D.	0,014	4,478	7,856	1,89	0,6	2,9	0,28	0,0278		8,5	14,6	N.D.	N.D.	N.D.	198,90	

N.D. No detectable, concentración por debajo del límite de detección.

**Tabla 1-3. Parámetros físico-químicos de muestras de agua subterránea recolectadas en las minas CDJ – Norcarbón por la CGR en junio de 2013.**

Cód.	Temp. agua (Campo) (°C)	pH	pH (Lab)	Cond.	Cond. 25 °C (Lab)	SDT	SST	Turbiedad	Sólidos Sedimentables	Acidez	Alcalinidad Total	Dureza Total	Dureza Cálcica	Ca total	Mg total	K total	Na total	Carbonatos	Bicarbonatos	
		Campo	Electrométrico SM-4500 H+B	Campo	Laboratorio SM-2510 B	SM 2540 B-D	SST Secado a 103-105 C SM 2540 D	Nefelométrico SM-2130 B	Sólidos Sedimentables SM-2540 F	Titulométrico SM - 2310 B	Titulométrico SM-2310 B	Titulométrico EDTA SM-2340 C	Volumétrico 3500-Ca-B	ICP SM-3120 Ca B	ICP SM-3120 Mg B	ICP SM-3120 Mo B	ICP SM-3120 Na B			
				µs/cm	µs/cm	mg/L	mg/L	UNT	ml/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
			0,1		0,5	1	1	0,05	0,5	1	1	0,5	0,5	0,01	0,001	0,005	0,005			
GM1	27,7	6,6	7,9	325	334	228	N.D.	0,2		N.D.	155,4	172,1	146	56,59	5,833	0,211	13,005	N.D	155	
GM2	29,3	6,7	7,7	622	620	432	0	0,2		N.D.	141,1	234,4	175,7	82,15	16,970	20,745	37,170	N.D	141	
GM3	28,1	6,7		661																
GM4	27,8	6,7		613																
GM5	30,5	5,3	8,0	52	620	18,4	2	2,0		3,5	36,3	N.D.	N.D.	0,30	0,100	0,235	3,305	N.D	36	
GP1	30,2	8,4		1.396																
GP2	28,8	7,0		277																
GP3	29,9	7,7		458																
GP4	33,0	7,1	7,8	70	3.170	296	2428	3100,0		8,8	152,3	170	140	259,75	35,089	N.D.	14,546	N.D	152	
GP5	29,2	7,2		311																
GP6	28,3	6,7	7,9	105	2.890	2706	626	678,0		34,9	446,7	1768	785,8	378,75	229,105	0,184	137,145	N.D	447	
GP7	30,0	6,8		2.690																
GP8	30,2	6,9	7,3		1.735	982	740	514,0		62,4	105,1	276	126,8	55,81	35,630	46,651	301,537	N.D	105	
GP9	27,4	6,7		189																
GP10	28,5	6,6	7,7	192	189	141	156	155,0		6,8	91,0	96,28	67	29,97	5,042	0,957	6,827	N.D	91	
GP11	28,1	6,6		185																
GP12	29,0	6,6	7,9	191	188	127	306	440,0		10,5	95,1	75,34	61,49	27,34	4,751	1,223	6,388	N.D	95	
GA2	28,6	6,2		274																
GA3	30,3	5,1		68																
GA4	28,6	5,1		351																

**N.D.** No detectable, concentración por debajo del límite de detección.

**Tabla 1-3. Parámetros físico-químicos de muestras de agua subterránea recolectadas en la mina CDJ – Norcarbón por la CGR en junio de 2013**

Cód.	Cloruros	Sulfatos	Sulfuros Totales	meq/l Aniones	meq/l Cationes	BI %	Al Total	Sb Total	As Total	Ba Total	B Total	Be Total	Cd Total	Co Total	Cu Total	Cr Total	Sn Total	Fe Total	Li Total	Mn Total	Hg Total	Mo Total		
	Potenciométrico SM-4500 Cl D	Turbidimétrico SM-4500 SO <sub>4</sub> = E	Iodométrico SM-4500 S= F				ICP SM-3120 Al B	ICP SM-3120 Sb B	ICP SM-3120 As B	ICP SM-3120 Ba B	ICP SM-3120 B B	ICP SM-3120 Be B	ICP SM-3120 Cd B	ICP SM-3120 Co B	ICP SM-3120 Cu B	ICP SM-3120 Cr B	ICP SM-3120 Sn B	ICP SM-3120 Fe B	ICP SM-3120 Li B	ICP SM-3120 Mn B	Absorción Atómica, vapor frío 3112-B-Hg	ICP SM-3120 Mo B		
	mg/L	mg/L	mg/L				mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	0,9	1	0,1				0,0005	0,003	0,0006	0,0002	0,004	0,0035	0,004	0,0005	0,002	0,0005	0,0025	0,002	0,004	0,001	0,00025	0,0002		
GM1	2,4	34	N.D.	3,9	3,3	7,7	0,0032	N.D.	N.D.	0,0065	0,0314	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,052	0,006	0,002	N.D.	0,0021			
GM2	2,1	163	N.D.	7,6	5,8	14,1	0,0175	N.D.	N.D.	0,0357	0,0484	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,038	N.D.	0,001	N.D.	0,0031			
GM2			N.D.				0,0617	N.D.	N.D.	0,0433	0,0417	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,045	N.D.	N.D.		0,0051			
GM5	N.D.	1	0,2	0,2	0,6	56,0	0,0578	N.D.	N.D.	N.D.	0,0131	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,096	N.D.	0,009	N.D.	N.D.			
GM5			0,2				0,1737	N.D.	N.D.	0,0025	0,0121	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,053	N.D.	0,006		N.D.			
GP4	2,7	119	0,3	16,5	5,1	53,1	1,3710	0,014	0,0796	0,0890	1,2966	0,015	0,0251	0,320	0,5528	0,179	0,03280	219,030	0,107	8,350	N.D.	N.D.		
GP6	4,8	1950	N.D.	43,7	48,1	-4,7	2,6784	N.D.	0,0015	0,1069	0,1265	N.D.	N.D.	0,082	0,0153	N.D.	0,01890	6,031	0,059	0,323	N.D.	0,0011		
GP8	14,7	175	0,6	20,0	5,8	55,2	5,6300	N.D.	0,0070	0,4250	0,1276	N.D.	N.D.	0,041	0,0178	0,014	0,01360	12,235	0,030	0,870	N.D.	0,0006		
GP10	2,2	25	N.D.	2,2	2,1	3,7	1,0260	N.D.	0,0021	0,0080	0,0257	N.D.	N.D.	0,010	N.D.	N.D.	N.D.	2,925	N.D.	1,199	N.D.	N.D.		
GP12	1,8	36	0,2	2,1	2,3	-6,4	1,2886	N.D.	0,0057	0,0140	0,0717	N.D.	N.D.	0,042	0,0244	0,012	0,00160	18,448	0,004	0,097	N.D.	0,0016		

**N.D.** No detectable, concentración por debajo del límite de detección.



**Tabla 1-3. Parámetros físico-químicos de muestras de agua subterránea recolectadas en la mina CDJ – Norcarbón por la CGR en junio de 2013**

Cód.	Ni Total	Pd Total	Ag Total	Pb Total	Se Total	Th Total	V Total	Zn Total	Si Soluble Total	Nitratos NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> N	Nitritos NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> N	N Kjeldahl Total	Amonio N	Fluoruros	P Total	Cianuro Total mg CN/L	O.D. O <sub>2</sub>	C Orgánico Total	DB O <sub>5</sub> Total O <sub>2</sub>	DQ O Total mg O <sub>2</sub> /L	Coliformes Fecales	Coliformes Totales	Nive l agua
	ICP SM-3120 Ni B	ICP SM-3120 Al B	ICP SM-3120 Ag B	ICP SM-3120 Pb B	ICP SM-3120 Se B	ICP SM-3120 TI B	ICP SM-3120 V B	ICP SM-3120 Zn B	ICP SM-3120 Si B	Ácido Cromotrópico SM <sup>+</sup> -418 D	Colorimétrico SM - 4500 NO <sub>2</sub> B	Macro-Kjeldahl Total SM-4500 Norg B	Titulométrico SM-4500 NH <sub>3</sub> E	Electrodo Ion Selectivo SM-4500 F C	Colorimétrico Ácido Ascórbico SM-4500 PE	Destilación-Colorimétrico SM-4500 CN C-E	Modificación de Azida SM-4500-O-C	Combustión Alta Temperatura SM-5310 B	S.M. 5210 B-AS TM D88 8-09	Refl ujo Abierto SM - 5220 B	Filtro de Membrana Coliformes Fecales SM 9222 D	Sustrato Enzimático Cuantitativo Colilert SM-9223 B	
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	UFC/100 mL	NMP/100 mL	(m.b .s)
	0,003	0,0005	0,0002	0,003	0,0015	0,002	0,0004	0,001	0,003	0,004	0,01	0,5	0,2	0,01	0,0088	0,001	0,3	0,2	1	5	1	1	
GM1	N.D.	N.D.	0,0008	N.D.	0,0039	0,013	0,0011	0,007	13,209	0,610	0,01	0,7	N.D.	0,22	0,0390		4,1	7,1		N.D.	50	1986	
GM2	N.D.	N.D.	0,0003	N.D.	N.D.	0,015	N.D.	0,006	7,969	N.D.	N.D.	0,6	N.D.	0,21	0,0355		3,1	5,2		N.D.	N.D.	138	
GM2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,011	0,0016	0,005		N.D.	N.D.	0,6	N.D.	0,21	0,0355		3,1	5,2		N.D.	N.D.	138	
GM5	N.D.	N.D.	0,0006	N.D.	N.D.	0,012	N.D.	0,008	5,580	N.D.	N.D.	0,6	N.D.	0,14	0,0148		5,9	1,6		N.D.	26	520	
GM5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0023	0,012	0,0008	0,004		N.D.	N.D.	0,6	N.D.	0,14	0,0148		5,9	1,6		N.D.	26	520	
GP4	0,569	N.D.	N.D.	0,173	N.D.	0,074	0,6047	3,170	8,482	0,405	0,05	11,7	0,5	0,21	N.D.			10,0	16	266,6	600	143900	2,9
GP6	0,024	N.D.	0,0032	0,007	0,0017	0,014	0,0091	0,049	14,545	0,118	0,06	2,2	0,4	0,22	0,6809			143,3	8	12,2	300	17890	5,813
GP8	0,014	N.D.	0,0115	0,010	N.D.	0,013	0,0244	0,091	6,796	0,197	0,03	86,5	63,2	0,37	4,7749			189,7		563,3	80000	4611000	6,123
GP10	N.D.	N.D.	0,0005	N.D.	0,0017	0,014	0,0018	0,015	9,967	0,202	0,02	1,2	N.D.	0,24	0,1714			6,0		12,0	50	488400	2,065
GP12	0,005	N.D.	0,0002	0,013	N.D.	0,017	0,0082	0,041	12,528	0,404	0,06	3,9	1,9	0,19	0,3576			6,4		6,4	70	613100	2,68
GA2																							1,983
GA3																							8
GA4																							1,257

**N.D.** No detectable, concentración por debajo del límite de detección.

**Tabla 1-4. Parámetros físico-químicos de muestras de sólidos recolectados en la mina mina CDJ – NorCarbón por la CGR. (Junio de 2013).**

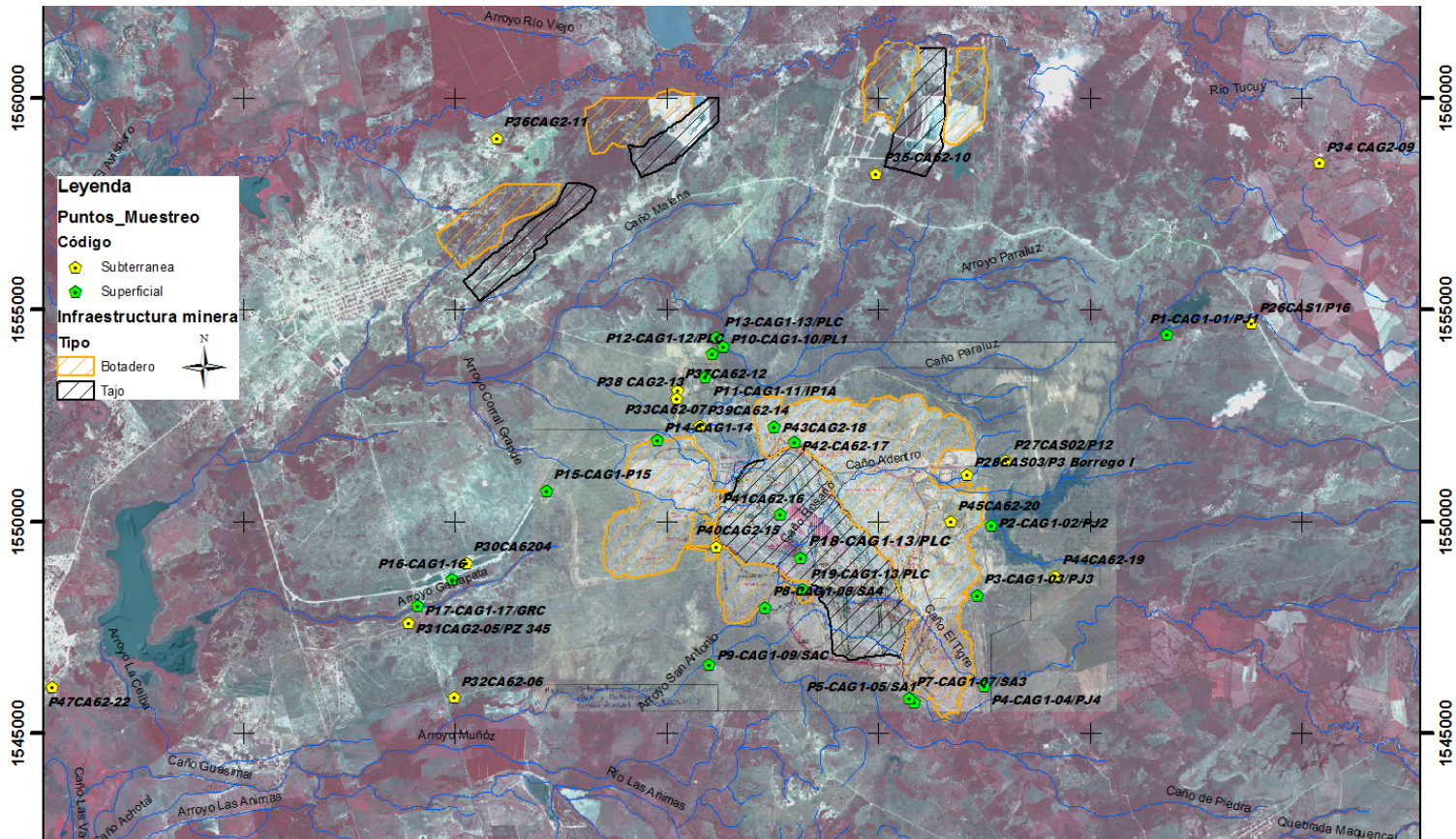
Cód	Ca Total	Mg Total	K Total	Na Total	Sulfatos	Al Total	Ba Total	Be Total	Cd Total	Co Total	Cu Total	Cr Total	Sn Total	Fe Total	Li Total	Mn Total
	ICP SM-3120 Ca B	ICP SM-3120 Mg B	ICP SM-3120 Mo B	ICP SM-3120 Na B	Turbidimétrico SM-4500 SO <sub>4</sub> = E	ICP SM-3120 Al B	ICP SM-3120 Ba B	ICP SM-3120 Be B	ICP SM-3120 Cd B	ICP SM-3120 Co B	ICP SM-3120 Cu B	ICP SM-3120 Cr B	ICP SM-3120 Sn B	ICP SM-3120 Fe B	ICP SM-3120 Li B	ICP SM-3120 Mn B
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
	0,01	0,001	0,005	0,005	1	0,0005	0,0002	0,004	0,0035	0,004	0,0005	0,002	0,00025	0,002	0,004	0,001
SoTC2	4281,3	766,5	4340,6		6,4	1710,6	215,8	16,6	21,7	N.D.	945,1	667,2	172,1	4585,6	N.D.	122,9
SoTC3	2823,3	462,5	3459,9		7,7	1922,1	212,0	14,1	15,9	N.D.	178,1	373,7	35,4	4299,0	3,9	21,9
SoBR2	3215,5	4080,9	9277,5		8,2	28304,1	579,6	10,4	14,0	13,6	584,7	370,2	124,2	12909,1	17,0	122,2
SoBR4	4756,9	1526,8	4964,9	6869,3	65,8	10030,2	155,2	5,4	9,9	N.D.	324,5	287,4	59,0	32626,2	11,1	89,4
SoBR6	3290,9	2742,2	5530,8		9,3	13648,4	179,9	12,4	16,6	0,1	192,5	244,3	31,8	14757,7	10,6	94,8
SoBR7	4187,9	3084,6	6580,0		7,3	13317,9	701,9	18,9	21,0	N.D.	675,9	708,2	30,8	9165,9	13,0	64,5
SoTR2	3794,2	5302,9	5549,8		8,2	22208,8	162,7	8,2	15,3	10,5	721,3	324,7	68,1	15737,6	19,8	183,0
SoTR4	3771,8	4636,3	6898,4	9991,1	7,5	22339,2	143,7	5,5	12,2	1,6	198,1	278,8	3,2	14379,6	35,0	90,2
SoS5	9091,8	5897,3	5780,6	11794,8	10,5	22358,8	333,7	11,5	16,7	N.D.	1144,9	353,7	35,3	34783,8	13,1	679,5

N.D. No detectable, concentración por debajo del límite de detección.

Cód	Hg Total	Mo Total	Ni Total	Pd Total	Ag Total	Pb Total	Se Total	Th Total	V Total	Zn Total	Sb Total	As Total	B Total	Si Total	Sulfuros	Fluoruros
	Absorción Atómica, vapor frío 3112-B-Hg	ICP SM-3120 Mo B	ICP SM-3120 Ni B	ICP SM-3120 Al B	ICP SM-3120 Ag B	ICP SM-3120 Pb B	ICP SM-3120 Se B	ICP SM-3120 Ti B	ICP SM-3120 V B	ICP SM-3120 Zn B	ICP SM-3120 Sb B	ICP SM-3120 As B	ICP SM-3120 B B	ICP SM-3120 Si B	Iodométrico SM-4500 S= F	Electrodo Ion Selectivo SM-4500 F C
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
	0,00025	0,0002	0,003	0,0005	0,0002	0,003	0,0015	0,002	0,0004	0,001	0,003	0,0006	0,0002	0,003	0,1	0,01
SoTC2	4,6	17,4	167,8	N.D.	71,2	76,4	38,1	198,3	N.D.	412,9	32,7	6,1	43,0	404,4	278,6	13,63
SoTC3	3,5	7,0	135,6	N.D.	18,9	33,3	45,7	113,7	N.D.	90,6	52,9	8,3	43,1	418,1	20,6	11,88
SoBR2	2,5	10,8	149,3	N.D.	16,2	63,8	8,0	108,4	100,1	502,3	10,9	41,6	34,7	986,2	34,8	15,38
SoBR4	1,3	19,0	62,1	N.D.	8,7	53,8	4,4	54,6	75,2	135,8	13,7	44,9	18,4	573,0	4,8	14,13
SoBR6	4,3	17,3	65,3	N.D.	13,7	24,0	N.D.	135,2	117,3	234,5	20,4	16,7	15,7	584,7	27,8	15,25
SoBR7	4,2	23,4	99,4	N.D.	15,2	85,1	40,2	223,0	48,2	419,2	30,8	35,9	30,9	666,6	9,8	13,90
SoTR2	1,9	6,6	152,1	N.D.	42,0	60,6	N.D.	92,2	108,9	528,8	22,5	10,6	13,0	756,9	81,7	14,63
SoTR4	2,3	0,3	52,4	N.D.	10,6	30,6	N.D.	80,8	82,2	283,6	3,6	18,7	16,3	915,7	44,1	15,88
SoS5	2,6	1,9	182,2	N.D.	12,8	104,6	28,1	124,1	82,3	844,1	47,3	29,0	19,7	428,0	16,4	15,88

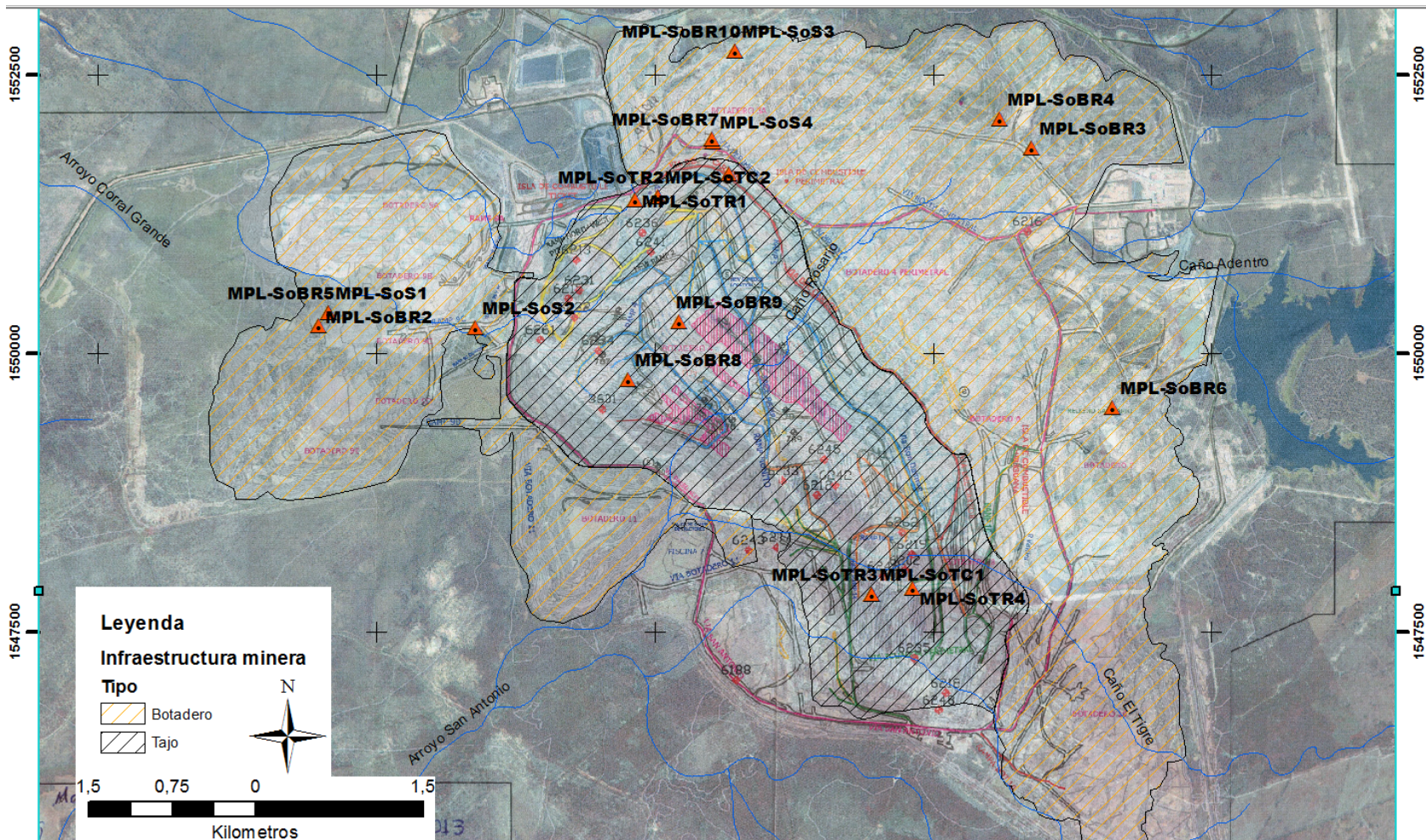
N.D. No detectable, concentración por debajo del límite de detección.

## Anexo 2 - Pribbenow, Drummond



**Figura 2-1.** Mapa de localización de los puntos de muestreo de aguas subterráneas y superficiales en la mina Pribbenow (Drummond), Departamento del Cesar. Imagen: Ortofoto noviembre de 2013, Drummond y Satélite Spot 2005.





**Figura 2-2.** Mapa de localización de los puntos de muestreo de rocas y sedimentos en la mina Pribbenow (Drummond), Departamento del Cesar. Imagen: Ortofoto noviembre de 2013, Drummond.

**Tabla 2-1.** Localización de las muestras de aguas superficiales y subterráneas, y sólidos (rocas, sedimentos y carbón) colectadas por la CGR entre el 18 – 23 de noviembre de 2013 en la mina Pribbenow.

Código de muestra	Lugar de muestreo	Coordenadas (Magna Colombia Bogotá)	
		Este	Norte
P1-CAG1-01/PJ1	Superficial Estación Limnimétrica LM21 sobre caño Paujil.	1.071.833	1.554.428
P2-CAG1-02/PJ2	Superficial Estación Limnimétrica LM06. Embalse paujil	1.067.679	1.549.921
P3-CAG1-03/PJ3	Superficial estación EH 15. Canal de descarga embalse paujil	1.067.334	1.548.275
P4-CAG1-04/PJ4	Superficial Caño San Antonio 50-100 metros aguas arriba entrada canal paujil.	1.067.512	1.546.128
P5-CAG1-05/SA1	Superficial Caño San Antonio Estación EH40.	1.065.858	1.545.740
P6-CAG1-06/SA2	Descarga piscina 6	1.065.726	1.545.850
P7-CAG1-07/SA3	Superficial Vertimiento piscina 6 al caño San Antonio, margen izquierda.	1.065.726	1.545.850
P8-CAG1-08/SA4	Superficial Vertimiento piscina 7 al caño San Antonio.	1.062.327	1.547.987
P9-CAG1-09/SAC	Superficial Caño san Antonio cierre.	1.061.017	1.546.638
P10-CAG1-10/PL1	Superficial Aguas arriba de la descarga de la piscina 1A al caño Para luz	1.061.337	1.554.153
P11-CAG1-11/IP1A	Superficial Afluente piscina 1A.	1.060.920	1.553.423
P12-CAG1-12/PLC	Superficial Vertimiento de la piscina 1A al caño Para luz	1.061.074	1.553.969
P13-CAG1-13/PLC	Superficial cierre caño Para luz	1.061.181	1.554.349
P14-CAG1-14	Superficial Entrada piscina 4 - E17 – A.	1.059.780	1.551.946
P15-CAG1-P15	Superficial Entrada piscina 4 - E17 – B.	1.057.171	1.550.739
P16-CAG1-16	Superficial Salida piscina 4,	1.054.943	1.548.648
P17-CAG1-17/GRC	Canal garrapata cierre.	1.054.122	1.548.021
P18-CAG1-13/PLC	Superficial Fondo de mina el cartucho	1.063.173	1.549.164
P19-CAG1-13/PLC	Superficial Sumidero del aluvial	1.063.221	1.548.407
P41CA62-16	Agua de escorrentía + rezumadero, retrolenado	1.062.680	1.550.176
P42-CA62-17	Agua de botadero 3A	1.063.025	1.551.900
P43CAG2-18	Canal de reservorio de agua botadero de patio de tubos	1.062.552	1.552.260
P26CAS1/P16	Finca Pachito-Boquerón-Cesar Pozo 16.	1.073.829	1.554.687
P28CAS03/P3 Borrego I	Hacienda el Borrego Pozo 3	1.067.097	1.551.133
P27CAS02/P12		1.068.027	1.551.446
P30CA6204	El paso-Cesar. Pozo 6. Zona de trenes	1.549.037	1.055.290
P33CA62-07	Vía Barraca	1.060.797	1.552.273
P32CA62-06	Chiriguana-La Jagua. Tanque	1.054.982	1.545.869
P34 CAG2-09	Boquerón -Cesar	1.075.421	1.558.472
P35-CA62-10	La loma-cesar	1.064.957	1.558.229
P39CA62-14	La loma-cesar Tanque antiguo pozo 13	1.060.801	1.552.262
P40CAG2-15	La loma-cesar PZ 44	1.061.175	1.549.423
P44CA62-19	Piezómetro 03 Paujil	1.069.181	1.548.724
P45CA62-20	Pz-w1 Botadero Este - PZ 41	1.550.011	1.066.714
P47CA62-22	Piezómetro ubicado en el predio del Señor Luis Alfredo Cano	1.045.504	1.546.111
P36CAG2-11	El paso Hatillo	1.055.989	1.559.067
P37CA62-12	El paso la loma-Pozo 8	1.060.267	1.553.122
MPL-SoS1	Botadero W1	1.059.570	1.550.372
MPL-SoS2	Botadero W1	1.060.885	1.550.236
MPL-SoS3	Botadero 3A,	1.063.218	1.552.725
MPL-SoS4	Botadero 3A,	1.063.023	1.551.908
MPL-SoBR1	Botadero de retrolenado NS	1.063.165	1.551.618
MPL-SoBR2	Botadero W1	1.059.478	1.550.257
MPL-SoBR3	N Botadero taller de camiones	1.065.886	1.551.848
MPL-SoBR4	Botadero patio de tubos, @ canal de vía antigua	1.065.601	1.552.110
MPL-SoBR5	Botadero W1	1.059.570	1.550.372
MPL-SoBR6	Botadero E2, Cerca @ relleno sanitario	1.066.612	1.549.519
MPL-SoBR7	Botadero 3A,	1.063.011	1.551.929
MPL-SoBR8	Botadero de retrolenado NI	1.062.260	1.549.774
MPL-SoBR9	Botadero de retrolenado NM	1.062.718	1.550.288
MPL-SoBR10	Botadero 3A,	1.063.218	1.552.725
MPL-SoTR1	N Tajo norte, NS manto borrego	1.062.326	1.551.383
MPL-SoTR2	N Tajo norte, NI Manto Alanito	1.062.527	1.551.415
MPL-SoTR3	S Tajo Norte, NI Manto cazador.	1.064.450	1.547.845

Código de muestra	Lugar de muestreo	Coordenadas (Magna Colombia Bogotá)	
		Este	Norte
MPL-SoTR4	S Tajo Norte, NI Manto Rauzaud.	1.064.820	1.547.898
MPL-SoTC1	S Tajo Norte, @ Manto cazador	1.064.447	1.547.846
MPL-SoTC2	N Tajo norte, @ manto alanito	1.062.527	1.551.415

Localización de las muestras de aguas superficiales y subterráneas, y sólidos (rocas, sedimentos y carbón) colectadas por la CGR entre el 18 – 23 de noviembre de 2013 en la mina Pribbenow.

**Tabla 2-2.** Parámetros físico-químicos de muestras de agua superficial recolectadas en la mina Pribbenow (Drummond) por la CGR. (18 al 23 de noviembre de 2013). **N.D.** No detectable, concentración por debajo del límite de detección.

Cód.	Temp. agua (Campo) (°C)	pH	pH (Lab)	Cond.	Cond. 25 °C (Lab)	SDT	SST	Turbiedad	Sólidos Sedimentables	Acidez	Alcalinidad Total	Dureza Total	Dureza Cálcica	Ca total	Mg total	K total	Na total	Carbo-natos	Bicarb-o-natos
		Campo	Electro métrico SM-4500 H+B	Campo	Laborat orio SM-2510 B	SM 2540 B-D	SST Secado a 103-105 C SM 2540 D	Nefelomé trico SM-2130 B	Sólidos Sedimenta bles SM-2540 F	Titulomé trico SM - 2310 B	Titulomé trico SM-2310 B	Titulom étrico EDTA SM-2340 C	Volumé trico 3500-Ca-B	ICP SM-3120 Ca B	ICP SM-3120 Mg B	ICP SM-3120 Mo B	ICP SM-3120 Na B		
			0,1	us/cm	us/cm	mg/L	mg/L	UNT	ml/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		
P1-CAG1-01/PJ1	28,5	7,6	8,1	955	363	738	62	16,3	≤0.5	N.D.	80	370,9	204,6	84,32	6,689	2,781	51,844	N.D.	80
P2-CAG1-02/PJ2	27,3	8,4	8,21	243	243	158	3	1,67	≤0.5	N.D.	63	92,1	59	23,77	8,99	4,004	17,8	N.D.	63
P3-CAG1-03/PJ3	32	7,4	7,71	234	222	139	9	1,94	≤0.5	N.D.	61	78,9	39,8	21,02	4,447	7,171	12,766	N.D.	61
P4-CAG1-04/PJ4	31	7,9	8,09	179,9	184,1	133	28	13	≤0.5	N.D.	73	72,0	50,3	20,620	3,020	3,849	8,520	N.D.	73
P5-CAG1-05/SA1	33,1	8,1	8,25	207	214	149	21	9,4	≤0.5	N.D.	66	63,9	50,8	21,54	3,18	2,27	9,065	N.D.	66
P6-CAG1-06/SA2	32,5	8,7	-	2410	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P7-CAG1-07/SA3	31,2	8,5	8,79	2450	2600	1832	35	15	≤0.5	N.D.	271	217,1	73	29,2	27,74	3,03	430,5	N.D.	271
P8-CAG1-08/SA4	31,2	8,5	8,52	510	534	360	34	36	≤0.5	N.D.	89	167,3	101,6	39,635	12,14	9,51	76,27	3	86
P9-CAG1-09/SAC	31	8,0	8,3	472	484	319	52	20	≤0.5	N.D.	89	91,9	56,3	24,679	9,237	5,358	59,368	18	71
P10-CAG1-10/PL1	26,5	6,8	7,26	300	312	229	14	51	≤0.5	N.D.	36	34,3	12,1	6,96	4,434	4,52	78,38	N.D.	36
P11-CAG1-11/IP1A	32,3	8,7	8,84	2570	2740	1936	58	71	≤0.5	N.D.	328	197,2	63,1	31,897	31,553	24,24	483,569	36	92
P12-CAG1-12/PLC	33,2	8,6	8,78	2096	2250	1552	22	37	≤0.5	N.D.	254	183,8	52,6	34,909	29,487	19,473	497,786	29	225
P13-CAG1-13/PLC	32,5	8,5	8,72	1849	2010	1397	22	49	≤0.5	N.D.	233	172,2	72,2	31,083	25,455	15,379	491,269	27	206



Cód.	Temp. agua (Campo) (°C)	pH	pH (Lab)	Cond.	Cond. 25 °C (Lab)	SDT	SST	Turbiedad	Sólidos Sedimentables	Acidez	Alcalinidad Total	Dureza Total	Dureza Cálcica	Ca total	Mg total	K total	Na total	Carbonatos	Bicarbonatos
		Campo	Electrométrico SM-4500 H+B	Campo	Laboratorio SM-2510 B	SM 2540 B-D	SST Secado a 103-105 C SM 2540 D	Nefelométrico SM-2130 B	Sólidos Sedimentables SM-2540 F	Titulométrico SM - 2310 B	Titulométrico SM-2310 B	Titulométrico EDTA SM-2340 C	Volumétrico 3500-Ca-B	ICP SM-3120 Ca B	ICP SM-3120 Mg B	ICP SM-3120 Mo B	ICP SM-3120 Na B		
				µs/cm	µs/cm	mg/L	mg/L	UNT	ml/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		
P14-CAG1-14	31,2	8,2	8,05	2148	2390	1670	80	88	≤0,5	1	300	241,8	105,3	40,229	31,88 <sub>1</sub>	17,709	498,553	N.D.	300
P15-CAG1-P15	33	7,0	7,92	166,5	166	123	24	26	≤0,5	N.D.	48	21,9	8,6	3,301	1,722	4,899	21,385	N.D.	48
P16-CAG1-16	34,5	8,3	8,46	2010	2130	1533	7	7,5	≤0,5	N.D.	171	221,4	93	38,348	24,40 <sub>1</sub>	15,96	429,111	N.D.	171
P17-CAG1-17/GRC	32,5	8,1	8,23	1983	2120	1540	20	18	≤0,5	N.D.	176	221,4	93,8	40,48	24,77 <sub>4</sub>	16,972	436,538	N.D.	176
P18-CAG1-13/PLC	33,1	8,0	8,19	3250	3400	2604	98	107	-	N.D.	465	258,8	63,9	48,338	26,82 <sub>9</sub>	32,627	478,756	N.D.	465
P19-CAG1-13/PLC	33,5	8,1	8,04	891	669	500	27	23	≤0,5	N.D.	172	294,6	230,2	114,129	5,773	6,553	35,023	N.D.	172
P41CA62-16	33,9	8,7	8,75	4370	4860	3606	120	59	≤0,5	N.D.	821	123,3	36,92	14,867	19,46 <sub>5</sub>	50,253	465,0495	28	793
P42-CA62-17	32,1	8,3	8,36	2230	2250	1640,2	12	1,9	≤0,5	N.D.	355	431	107,1	56,468	62,35	24,539	425,0507	N.D.	355
P43CAG2-18	28,5	7,6	7,83	320	337	213	8	3,60	≤0,5	N.D.	101	191	57,3	24,3	23,37 <sub>6</sub>	4,540	5,950	N.D.	101

**N.D.** No detectable, concentración por debajo del límite de detección.

**Tabla 2-2.** Continuación. Parámetros físico-químicos de muestras de agua superficial recolectadas en la mina Pribbenow (Drummond) por la CGR. (18 al 23 de noviembre de 2013).



**Tabla 2-2.** Parámetros físico-químicos de muestras de agua superficial recolectadas en la mina Pribbenow (Drummond) por la CGR. (18 al 23 de noviembre de 2013). **N.D.** No detectable, concentración por debajo del límite de detección.

Cód.	Cloruro	Sulfatos	Sulfuros Totales	meq/l Anion	meq/l Cation	BI%	Al Total	Sb Total	As Total	Ba Total	B Total	Be Total	Cd Total	Co Total	Cu Total	Cr Total	Sn Total	Fe Total	Li Total	Mn Total	Hg Total	Mo Total		
	Potenciometrico SM-4500 Cl D	Turbidimétrico SM-4500 SO <sub>4</sub> = E	Iodométrico SM-4500 S= F				ICP SM-3120 Al B	ICP SM-3120 Sb B	ICP SM-3120 As B	ICP SM-3120 Ba B	ICP SM-3120 B B	ICP SM-3120 Be B	ICP SM-3120 Cd B	ICP SM-3120 Co B	ICP SM-3120 Cu B	ICP SM-3120 Cr B	ICP SM-3120 Sn B	ICP SM-3120 Fe B	ICP SM-3120 Li B	ICP SM-3120 Mn B	Absorción Atómica, vapor frío 3112-B-Hg	ICP SM-3120 Mo B		
	mg/L	mg/L	mg/L				mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	0,9	1	0,1				0,0005	0,003	0,0006	0,0002	0,0002	0,004	0,0035	0,004	0,0005	0,002	0,00025	0,002	0,004	0,001	0,00025	0,0002		
P1-CAG1-01/PJ1	2,5	288	0,2	7,39	7,09	-2,06	0,028	N.D.	N.D.	0,0842	0,0334	N.D.	N.D.	N.D.	0,003	N.D.	N.D.	2,105	0,005	0,069	N.D.	N.D.		
P2-CAG1-02/PJ2	1,4	60	0,2	2,32	2,8	9,02	0,377	N.D.	N.D.	0,0309	0,0153	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,692	N.D.	0,078	N.D.	N.D.		
P3-CAG1-03/PJ3	3	34	0,3	1,81	2,16	8,76	0,1040	N.D.	N.D.	0,0319	0,0148	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,053	N.D.	0,151	N.D.	N.D.		
P4-CAG1-04/PJ4	4,5	27	N.D.	1,93	1,75	-4,84	0,020	N.D.	N.D.	0,0330	0,0059	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,079	N.D.	0,064	N.D.	N.D.		
P5-CAG1-05/SA1	4	37	0,2	1,97	1,79	-4,77	0,1660	N.D.	N.D.	0,0322	0,01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,468	N.D.	0,039	N.D.	N.D.		
P7-CAG1-07/SA3	1,2	1026	0,2	25,87	21,28	-9,74	0,165	N.D.	N.D.	0,0260	0,1662	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,295	0,142	0,042	N.D.	0,0423		
P8-CAG1-08/SA4	2,3	141	0,3	4,42	6,54	19,39	0,454	N.D.	N.D.	0,0668	0,0158	N.D.	N.D.	N.D.	0,003	N.D.	N.D.	0,204	0,01	0,046	N.D.	N.D.		
P9-CAG1-09/SAC	2,4	123	0,1	3,82	4,71	10,49	0,283	N.D.	N.D.	0,0373	0,0221	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,511	0,014	0,051	N.D.	N.D.		
P10-CAG1-10/PL1	2,1	145	0,3	3,68	4,24	7	0,301	N.D.	N.D.	0,0545	0,015	N.D.	N.D.	N.D.	0,0046	0,003	N.D.	1,389	0,007	0,058	N.D.	N.D.		
P11-CAG1-11/IP1A	2,6	1045	N.D.	26,65	25,84	-1,54	0,446	N.D.	N.D.	0,0707	0,1111	N.D.	N.D.	N.D.	0,0053	0,006	N.D.	0,399	0,126	0,028	N.D.	0,0286		
P12-CAG1-12/PLC	2,7	985	0,3	24,28	26,31	4,02	0,306	N.D.	N.D.	0,0541	0,089	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,209	0,095	0,024	N.D.	0,0196		
P13-CAG1-13/PLC	2,3	870	0,3	21,58	25,4	8,14	0,418	N.D.	N.D.	0,0572	0,0788	N.D.	N.D.	N.D.	0,0038	0,003	N.D.	0,394	0,082	0,029	N.D.	0,0178		

Cód.	Cloruro	Sulfatos	Sulfuros Totales	meq/l Anion	meq/l Cation	BI%	Al Total	Sb Total	As Total	Ba Total	B Total	Be Total	Cd Total	Co Total	Cu Total	Cr Total	Sn Total	Fe Total	Li Total	Mn Total	Hg Total	Mo Total		
	Potenciométrico SM-4500 Cl D	Turbidimétrico SM-4500 SO <sub>4</sub> = E	Iodométrico SM-4500 S= F				ICP SM-3120 Al B	ICP SM-3120 Sb B	ICP SM-3120 As B	ICP SM-3120 Ba B	ICP SM-3120 B B	ICP SM-3120 Be B	ICP SM-3120 Cd B	ICP SM-3120 Co B	ICP SM-3120 Cu B	ICP SM-3120 Cr B	ICP SM-3120 Sn B	ICP SM-3120 Fe B	ICP SM-3120 Li B	ICP SM-3120 Mn B	Absorción Atómica, vapor frío 3120-B-Hg	ICP SM-3120 Mo B		
	mg/L	mg/L	mg/L				mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	0,9	1	0,1				0,0005	0,003	0,0006	0,0002	0,0002	0,004	0,0035	0,004	0,0005	0,002	0,00025	0,002	0,004	0,001	0,00025	0,0002		
P14-CAG1-14	2	1116	0,2	28,27	26,77	-2,74	0,3614	N.D.	N.D.	0,0544	0,0927	N.D.	N.D.	N.D.	0,003	N.D.	N.D.	0,94	0,095	0,062	N.D.	0,0236		
P15-CAG1-P15	2,5	37	0,3	1,63	1,36	-9,04	0,1643	N.D.	N.D.	0,0514	0,0161	N.D.	N.D.	N.D.	0,0046	N.D.	N.D.	1,733	N.D.	0,103	N.D.	N.D.		
P16-CAG1-16	9	1013	1	24,45	22,99	-3,07	0,17	N.D.	N.D.	0,0634	0,0932	N.D.	N.D.	N.D.	0,005	N.D.	N.D.	0,116	0,073	0,023	N.D.	0,0322		
P17-CAG1-17/GRC	9,1	849	1,4	21,12	23,48	5,29	0,2577	N.D.	N.D.	0,0662	0,1036	N.D.	N.D.	N.D.	0,004	N.D.	N.D.	0,169	0,075	0,027	N.D.	0,0311		
P18-CAG1-13/PLC	2,5	1233	0,3	33,39	26,28	-11,92	0,6116	N.D.	N.D.	0,0573	0,1524	N.D.	N.D.	N.D.	0,0048	N.D.	N.D.	0,834	0,183	0,265	N.D.	0,0453		
P19-CAG1-13/PLC	3,4	181	0,4	6,7	7,87	8,08	0,099	N.D.	N.D.	0,0937	0,0113	N.D.	N.D.	N.D.	0,003	N.D.	N.D.	0,21	0,013	0,087	N.D.	N.D.		
P41CA62-16	2,8	1772	0,6	50,12	23,85	-35,51	0,5949	N.D.	N.D.	0,0263	0,2142	N.D.	N.D.	N.D.	0,004	N.D.	N.D.	1,177	0,251	0,033	N.D.	0,0434		
P42-CA62-17	1,2	1159	0,5	30,0	27,1	5,2	0,081	N.D.	N.D.	0,022	0,1542	N.D.	N.D.	N.D.	0,004	N.D.	N.D.	0,108	0,17202	0,009	N.D.	0,0194		
P43CAG2-18	N.D.	72	0,7	3,16	3,51	5,32	0,1009	N.D.	N.D.	0,0778	0,0152	N.D.	N.D.	N.D.	0,004	N.D.	N.D.	0,473	0,007	0,423	N.D.	N.D.		

N.D. No detectable, concentración por debajo del límite de detección.

**Tabla 2-2.** Continuación. Parámetros físico-químicos de muestras de agua superficial recolectadas en la mina Pribbenow (Drummond) por la CGR. (18 al 23 de noviembre de 2013).

**Tabla 2-2.** Parámetros físico-químicos de muestras de agua superficial recolectadas en la mina Pribbenow (Drummond) por la CGR. (18 al 23 de noviembre de 2013). **N.D.** No detectable, concentración por debajo del límite de detección.

Cód.	Ni Total	Pd Total	Ag Total	Pb Total	Se Total	Th Tot.	V Total	Zn Total	Si Total	Nitratos NO <sub>3</sub> -N	Nitritos NO <sub>2</sub> -N	N Kjeidahl Total	Amonio N	Fluoruros	P Total	Cianuro Total mg CN/L	O.D. O <sub>2</sub>	C Orgán. Total	DBO <sub>5</sub> Total O <sub>2</sub>	DQO Total mg O <sub>2</sub> /L	Colifor-mes Fecales	Colifor-mes Totales	Q(l/s) caudal
	ICP SM-3120 Ni B	ICP SM-3120 Al B	ICP SM-3120 Ag B	ICP SM-3120 Pb B	ICP SM-3120 Se B	ICP SM-3120 Ti B	ICP SM-3120 V B	ICP SM-3120 Zn B	ICP SM-3120 Si B	Ácido Cromotrópico SM*-418 D	Colorimétrico SM-4500 NO <sub>2</sub> B	Macro-Kjeldahl Total SM-4500 Norg B	Titulométrico SM-4500 NH <sub>3</sub> E	Electrodo Ion Selectivo SM-4500 F C	Colorimétrico Acido Ascórbico SM-4500 PE	Destilación-Colorimétrico SM-4500 CN C-E	Modificación de Azida SM-4500-O-C	Combustión Alta Temperatura SM-5310 B	S.M. 5210 B-ASTM D888-09	Reflujo Abierto SM-5220 B	Filtro de Membrana Coliformes Fecales SM-9222 D	Sustrato Enzimático Cuantitativo Colilert SM-9223 B	
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	UFC/100 mL	
	0,003	0,0005	0,0002	0,003	0,0015	0,002	0,0004	0,001	0,003	0,004	0,01	0,5	0,2	0,01	0,0088	0,001	0,3	0,2	1	5	1	1	
P1-CAG1-01/PJ1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,016	6,68	0,719	N.D.	1	N.D.	0,67	0,1361	N.D.	3,3	5,6	2	27	7490	43520	527,23
P2-CAG1-02/PJ2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,008	2,516	0,803	N.D.	N.D.	N.D.	0,26	0,1355	N.D.	3,8	5,5	1	19	410,6	32550	-
P3-CAG1-03/PJ3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,013	2,138	0,081	N.D.	0,8	N.D.	0,25	0,0552	N.D.	4,3	5,7	2	17	336	19863	784,79
P4-CAG1-04/PJ4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,009	9,288	1,951	0,22	0,6	N.D.	0,33	0,3489	N.D.	6,5	1,9	2	14	2603,0	19863	6553,5
P5-CAG1-05/SA1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,009	6,574	0,645	0,06	0,9	N.D.	0,34	0,2321	N.D.	6,8	3,5	2	11	959	9208	1646,89
P7-CAG1-07/SA3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,006	2,748	0,558	0,54	1,3	0,3	0,61	0,0859	N.D.	6,3	3,3	2	14	344,8	3448	196,54
P8-CAG1-08/SA4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,015	6,505	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,47	0,1008	N.D.	6,7	2,1	2	12	57,4	1019	59,8

Cód.	Ni Total	Pd Total	Ag Total	Pb Total	Se Total	Th Total	V Total	Zn Total	Si Total	Nitratos NO <sub>3</sub> -N	Nitritos NO <sub>2</sub> -N	N Kjelda hl Total	Amonio N	Fluoruros	P Total	Cianuro Total mg CN/L	O.D. O <sub>2</sub>	C Orgán. Total	DBO <sub>5</sub> Total O <sub>2</sub>	DQO Total mg O <sub>2</sub> /L	Colifor -mes Fecales	Colifor -mes Totales	Q(l/s) caudal	
	ICP SM-3120 Ni B	ICP SM-3120 Al B	ICP SM-3120 Ag B	ICP SM-3120 Pb B	ICP SM-3120 Se B	ICP SM-3120 Ti B	ICP SM-3120 V B	ICP SM-3120 Zn B	ICP SM-3120 Si B	Ácido Cromotrópico SM*-418 D	Colorimétrico SM-4500 NO <sub>2</sub> B	Macro-Kjelda hl Total SM-4500 Norg B	Titulométrico SM-4500 NH <sub>3</sub> E	Electrodo Ion Selectivo SM-4500 F C	Colorimétrico Acido Ascórbico SM-4500 PE	Destilación-Colorimétrico SM-4500 CN C-E	Modificación de Azida SM-4500-O-C	Combustión Alta Temperatura SM-5310 B	S.M. 5210 B-ASTM D888-09	Refluj o Abierto SM-5220 B	Filtro de Membrana Coliformes Fecales SM 9222 D	Sustrato Enzimático Cuantitativo Colilert SM-9223 B		
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L		mg/L
	0,003	0,0005	0,0002	0,003	0,0015	0,002	0,0004	0,001	0,003	0,004	0,01	0,5	0,2	0,01	0,0088	0,001	0,3	0,2	1	5	1	1		
P9-CAG1-09/SAC	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,014	6,405	1,029	0,03	N.D.	N.D.	0,71	0,2173	N.D.	6	3,6	2	17	985	19863	2667,3	
P10-CAG1-10/PL1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0078	0,009	7,591	0,597	0,01	0,9	N.D.	0,25	0,0963	N.D.	6,3	5	2	22	840	14140	-	
P11-CAG1-11/IP1A	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0138	0,011	10,451	0,297	0,01	N.D.	N.D.	0,79	0,1089	N.D.	7,2	3,5	3	20	224,7	6867	283,5	
P12-CAG1-12/PLC	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,006	0,009	6,083	0,209	N.D.	0,6	N.D.	0,65	0,0755	N.D.	5,1	3,1	2	27	307,6	5172	267,43	
P13-CAG1-13/PLC	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0067	0,024	7,284	0,244	0,01	0,8	N.D.	0,58	0,0857	N.D.	6,2	4,5	2	20	517,2	8164	425,32	
P14-CAG1-14	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0074	0,049	4,985	3,186	1,66	1,6	N.D.	0,62	0,2116	N.D.	6,1	3,9	5	25	5200	36540	77,4	
P15-CAG1-P15	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,007	4,35	N.D.	0,03	1,5	N.D.	0,31	0,0844	N.D.	5,2	3,3	2	23	754	24810	0,5	
P16-CAG1-16	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,029	1,799	17,682	4,4	5,9	N.D.	0,63	0,0591	N.D.	6,1	3,2	1	15	866,4	7270	54,1	
P17-CAG1-17/G	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,009	2,061	18,222	4,58	4,2	N.D.	0,62	0,0789	N.D.	7,6	3,2	2	23	5794	72700	109,0	

Cód.	Ni Total	Pd Total	Ag Total	Pb Total	Se Total	Th Total	V Total	Zn Total	Si Total	Nitratos NO <sub>3</sub> -N	Nitritos NO <sub>2</sub> -N	N Kjelda hl Total	Amonio N	Fluoruros	P Total	Cianuro Total mg CN/L	O.D. O <sub>2</sub>	C Orgán. Total	DBO <sub>5</sub> Total O <sub>2</sub>	DQO Total mg O <sub>2</sub> /L	Colifor -mes Fecales	Colifor -mes Totales	Q(l/s) caudal	
	ICP SM-3120 Ni B	ICP SM-3120 Al B	ICP SM-3120 Ag B	ICP SM-3120 Pb B	ICP SM-3120 Se B	ICP SM-3120 Ti B	ICP SM-3120 V B	ICP SM-3120 Zn B	ICP SM-3120 Si B	Ácido Cromotrópico SM*-418 D	Colorimétrico SM-4500 NO2 B	Macro-Kjelda hl Total SM-4500 Norg B	Titulométrico SM-4500 NH3 E	Electrodo Ion Selectivo SM-4500 F C	Colorimétrico Acido Ascórbico SM-4500 PE	Destilación-Colorimétrico SM-4500 CN C-E	Modificación de Azida SM-4500-O-C	Combustión Alta Temperatura SM-5310 B	S.M. 5210 B-ASTM D888-09	Reflujo Abierto SM-5220 B	Filtro de Membrana Coliformes Fecales SM 9222 D	Sustrato Enzimático Cuantitativo Colilert SM-9223 B		
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	UFC/100 mL		NMP/100 mL
	0,003	0,0005	0,0002	0,003	0,0015	0,002	0,0004	0,001	0,003	0,004	0,01	0,5	0,2	0,01	0,0088	0,001	0,3	0,2	1	5	1	1		
RC																								
P18-CAG1-13/PLC	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0079	0,016	7,04	0,565	0,76	0,5	N.D.	0,94	0,0545	N.D.	6,6	2,2	2	19	-	-	-	
P19-CAG1-13/PLC	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,02	7,465	0,644	0,09	1,4	N.D.	0,72	0,0677			2,2	3	18	-	-	-		
P41C A62-16	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,006	0,012	4,655	7,828	0,03	N.D.	N.D.	1,1	0,059	N.D.	6,5	5	N.D.	18	2420	3873	0,042	
P42-CA62-17	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,006	3,025	1,737	0,16	0,7	N.D.	N.D.	0,38	0,0108	N.D.	7,1	5,7	1	6	1299,7	10500	0,5	
P43C AG2-18	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,006	2,090	0,289	0,02	N.D.	N.D.	N.D.	0,39	0,0345		4	7,2	1	22	3076	22820	0,133	

**Tabla 2-2.** Continuación. Parámetros físico-químicos de muestras de agua superficial recolectadas en la mina Pribbenow (Drummond) por la CGR. (18 al 23 de noviembre de 2013). **N.D.** No detectable, concentración por debajo del límite de detección.

**Tabla 2-3.** Parámetros físico-químicos de muestras de agua subterránea recolectadas en la mina Pribbenow (Drummond) por la CGR. (18 al 23 de noviembre de 2013).

**N.D.** No detectable, concentración por debajo del límite de detección.

Código	Temp. agua (Campo) (°C)	pH	pH (Lab)	Cond.	Cond. 25 °C (Lab)	SDT	SST	Turbiedad	Sólidos Sedimentables	Acidez	Alcalinidad Total	Dureza Total	Dureza Cálctica	Ca total	Mg total	K total	Na total	Carbo natos	Bicarbo natos	
		Campo	Electrométrico SM-4500 H+B	Campo	Laboratorio SM-2510 B	SM 2540 B-D	SST Seca do a 103-105 C SM 2540 D	Nefelométrico SM-2130 B	Sólidos Sedimentables SM-2540 F	Titulométrico SM - 2310 B	Titulométrico SM-2310 B	Titulométrico EDTA SM-2340 C	Volumétrico 3500-Ca-B	ICP SM-3120 Ca B	ICP SM-3120 Mg B	ICP SM-3120 Mo B	ICP SM-3120 Na B			
				(µs/cm)	(µs/cm)	mg/L	mg/L	UNT	ml/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
			0,1		0,5	1	1	0,05	0,5	1	1	0,5	0,5	0,01	0,001	0,005	0,005			
P26CAS1/P16	31,0	6,4	6,9	329	338	264	1	1,1	N/A	N.D.	47	37,6	19,2	7,661	1,164	1,074	50,572	N.D.	47	
P28CAS03/P3 Borrego I	28,4	6,1	6,8	232	249	137	7	1,7	N/A	N.D.	51	62,3	35,7	7,221	0,74	1,083	37,23	N.D.	51	
P27CAS02/P12	34,0	7,6	8,1	362	364	248	8	14	N/A	N.D.	188	86,7	44	21,305	6,08	4,06	19,979	N.D.	188	
P30CA6204	30,5	5,5	6	121	112,8	88	4	2,75	N/A	N.D.	18	17,8	8,7	4,03	0,376	4,252	9,269	N.D.	18	
P30CA6204		5,5		122,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
P33CA62-07	31,9	4,8	6	34,5	49,4	36	4	0,68	N/A	N.D.	4	7,5	N.D.	0,95	0,48	1,087	5,34	N.D.	4	
P32CA62-06	31,1	6,1	6,5	166,3	166,7	159,4	4	2,27	N/A	N.D.	23	-	-	5,31	3,39	11,21	2,883	N.D.	23	
P31CAG2-05/PZ 345	33,0	6,5	-	363	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N.D.	-	
P34 CAG2-09	30,2	6,8	7,13	512	515	328	7	0,8	N/A	N.D.	159	144,6	89,4	39,304	14,252	2,437	50,343	N.D.	159	
P35-CA62-10	32,5	4,8	5,5	20,21	14,66	28	5	1,5	N/A	N.D.	2	11,9	N.D.	0,504	0,222	0,523	1,697	N.D.	2	
P39CA62-14	31,1	5,0	6,7	32,2	28,7	37	5	4,5	N/A	N.D.	4	6	N.D.	N.D.	0,002	3,28	3,572	N.D.	4	
P40CAG2-15		-	7,44	-	2240	7617	27400	7460	N/A	N.D.	1158	307,8	74,5	70,712	112,393	40,323	476,6748	N.D.	1158	
P44CA62-19	32,5	6,2	7,63	79	83,5	75	137	115	N/A	3	32	256,8	12	5,582	2,19	1,94	5,35	N.D.	32	
P45CA62-20	33,2	6,7	7	2570	2740	2798	1920	1322	N/A	12	632	1575,6	617,6	321,4465	141,392	17,791	245,0391	N.D.	632	
P47CA62-22	31,7	6,3	7	785	790	560	424	211	N/A	11	100	44,4	23,7	9,409	2,908	3,562	151,9268	N.D.	100	
P36CAG2-11	32,2	4,0	-	189,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
P37CA62-12	32,0	4,9	5	32,1	28	54	12	16	N/A	N.D.	N.D.	5,7	N.D.	0,554	0,697	0,739	2,459	N.D.	N.D.	
P38 CAG2-13	32,4	5,5	-	22,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

**Tabla 2-3.** Parámetros físico-químicos de muestras de agua subterránea recolectadas en la mina Pribbenow (Drummond) por la CGR. (18 al 23 de noviembre de 2013).

Cód.	Cloruros	Sulfatos	Sulfuros Totales	meq/l Anion.	meq/l Cation.	BI%	Al Total	Sb Total	As Total	Ba Total	B Total	Be Total	Cd Total	Co Total	Cu Total	Cr Total	Sn Total	Fe Total	Li Total	Mn Total	Hg Total	Mo Total		
	Potenció métrico SM-4500 Cl D	Turbidim étrico SM-4500 SO <sub>4</sub> = E	Iodométri co SM-4500 S= F				ICP SM-3120 Al B	ICP SM-3120 Sb B	ICP SM-3120 As B	ICP SM-3120 Ba B	ICP SM-3120 B B	ICP SM-3120 Be B	ICP SM-3120 Cd B	ICP SM-3120 Co B	ICP SM-3120 Cu B	ICP SM-3120 Cr B	ICP SM-3120 Sn B	ICP SM-3120 Fe B	ICP SM-3120 Li B	ICP SM-3120 Mn B	Absorci ón Atómica , vapor frío 3112-B-Hg	ICP SM-3120 Mo B		
	mg/L	mg/L	mg/L				mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	0,9	1	0,1				0,0005	0,003	0,0006	0,0002	0,0002	0,004	0,0035	0,004	0,0005	0,002	0,0025	0,002	0,004	0,001	0,00025	0,002		
P26CAS 1/P16	9,2	83	0,3	2,81	2,71	-1,83	0,041	N.D	N.D	0,03071	0,0099	N.D.	N.D.	N.D	N.D	N.D	0,037	0,009	0,007	N.D.	N.D.			
P28CAS 03/P3 Borrego I	39,6	4	N.D.	2,04	2,07	0,79	0,033	N.D	N.D	0,0920	0,0209	N.D.	N.D.	N.D	N.D	N.D	0,031	N.D	0,006	N.D.	N.D.			
P27CAS 02/P12	1,9	4	0,1	3,23	2,54	11,98	0,069	N.D	N.D	0,4746	0,0837	N.D.	N.D.	N.D	N.D	N.D	0,209	0,005	0,069	N.D.	N.D.			
P30CA6 204	15	10	N.D.	0,93	0,74	-10,91	0,0251	N.D	N.D	0,069	0,005	N.D.	N.D.	N.D	N.D	N.D	0,044	N.D	0,038	N.D.	N.D.			
P33CA6 2-07	2,1	4	0,1	0,26	0,35	13,5	0,135	N.D	N.D	0,0647	0,0029	N.D.	N.D.	N.D	0,004	N.D	0,115	0,004	0,055	N.D.	N.D.			
P32CA6 2-06	21,4	4	0,1	1,08	0,96	-5,9	0,035	N.D	N.D	0,1728	0,0094	N.D.	N.D.	N.D	N.D	N.D	0,131	0,018	0,074	N.D.	N.D.			
P34 CAG2-09	9,4	90	0,3	4,8	5,4	6,3	0,0248	N.D	N.D	0,0264	0,0257	N.D.	N.D.	N.D	N.D	N.D	0,093	0,008	0,032	N.D.	N.D.			
P35-CA62-10	1,3	2	0,5	0,1	0,1	4,5	0,051	N.D	N.D	0,0254	0,003	N.D.	N.D.	N.D	N.D	N.D	0,044	N.D	0,013	N.D.	N.D.			
P39CA6 2-14	1,9	2	0,5	0,2	0,2	0,9	0,0768	N.D	N.D	0,0599	0,0098	N.D.	N.D.	N.D	0,0169	N.D	0,154	0,006	0,058	N.D.	N.D.			
P40CA G2-15	4	880	2,4	37,43	34,54	-4,01	209,7548	N.D	N.D	0,1807	0,1608	N.D.	N.D.	0,009	0,0182	0,018	485,709	0,005	4,207	0,00170	0,0272			
P44CA6 2-19	1	45	0,5	1,5	0,7	33,9	0,1783	N.D	N.D	0,0476	0,0223	N.D.	N.D.	N.D	0,0039	0,002	3,56	N.D	0,023	N.D.	N.D.			
P45CA6 2-20	2,2	1492	0,9	41,5	38,8	-3,3	1,5605	N.D	0,0343	0,0237	0,0742	N.D.	N.D.	0,038	0,0036	N.D	4,177	0,12	0,536	N.D.	0,015			
P47CA6 2-22	174,2	8	0,3	6,78	7,41	4,41	0,5629	N.D	N.D	0,4086	0,014	N.D.	N.D.	0,014	0,0099	0,015	4,177	0,007	1,359	N.D.	N.D.			
P37CA6 2-12	N.D.	11	0,5	0,2	0,2	-7,1	0,173	N.D	N.D	0,042	N.D.	N.D.	N.D.	N.D	0,0046	N.D	0,033	N.D	0,027	N.D.	N.D.			

**N.D.** No detectable, concentración por debajo del límite de detección.

**Tabla 2-3.** Parámetros físico-químicos de muestras de agua subterránea recolectadas en la mina Pribbenow (Drummond) por la CGR. (18 al 23 de noviembre de 2013).

Cód	Ni Tot.	Pd Tot.	Ag Tot.	Pb Tot.	Se Tot.	Th Tot.	V Total	Zn Total	Si Total	Nitrato s NO <sub>3</sub> -N	Nitrito s NO <sub>2</sub> -N	N Kjeidahl Total	Amonio N	Fluoruros	P Total	Cianuro Total mg CN/L	O.D. O <sub>2</sub>	C Orgánico Total	DB O <sub>5</sub> Tot. O <sub>2</sub>	DQ O Total mg O <sub>2</sub> /L	Coliformes Fecales	Coliformes Totales	Nivel agua
	ICP SM-3120 Ni B	ICP SM-3120 Al B	ICP SM-3120 Ag B	ICP SM-3120 Pb B	ICP SM-3120 Se B	ICP SM-3120 Ti B	ICP SM-3120 V B	ICP SM-3120 Zn B	ICP SM-3120 Si B	Ácido Cromotrópico SM*-418 D	Colorimétrico SM-4500 NO <sub>2</sub> B	Macro-Kjeldahl Total SM-4500 Norg B	Titulométrico SM-4500 NH <sub>3</sub> E	Electrodo Ion Selectivo SM-4500 F C	Colorimétrico Acido Ascórbico SM-4500 PE	Destilación-Colorimétrico SM-4500 CN C-E	Modificación de Azida SM-4500-O-C	Combustión Alta Temperatura SM-5310 B	S.M. 5210 B-AS TM D88 8-09	Reflujos Abiertos SM-5220 B	Filtro de Membrana Coliformes Fecales SM-9222 D	Sustrato Enzimático Cuantitativo Colilert SM-9223 B	
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	UFC/100 mL	
	0,003	0,0005	0,0002	0,0003	0,0015	0,002	0,0004	0,001	0,003	0,004	0,01	0,5	0,2	0,01	0,0088	0,001	0,3	0,2	1	5	1	1	
P26 CAS 1/P16	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,009	23,8726	4,017	0,11	N.D.	N.D.	0,1	0,0396	N/A	N/A	1,3	2	7	310	3410	1,55
P28 CAS 03/P3 Borrigo I	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,008	6,698	0,304	0,01	N.D.	N.D.	0,11	0,0247	N/A	N/A	1,8	2	6	4,1	14,4	1,36
P27 CAS 02/P12	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,016	9,307	N.D.	N.D.	0,6	0,4	0,56	0,1196	N/A	N/A	3,6	2	12	0	0	
P30 CA6 204	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,005	7,548	0,273	N.D.	N.D.	N.D.	0,08	0,0385	N/A	N/A	1,4	2	N.D.	21,8	62,4	2,45
P33 CA6 2-07	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,02	5,614	4,226	N.D.	N.D.	N.D.	0,08	0,0349	N/A	N/A	0,7	1	N.D.	1	5,1	14,98
P32 CA6 2-06	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,037	22,0252	0,526	N.D.	-	N.D.	0,05	0,0473	N/A	N/A	0,5	2	N.D.	6,3	9,8	2,81
P34 CA G2-09	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,004	13,2084	0,097	0,01	N.D.	N.D.	0,26	0,1113	N/A	N/A	1,5	2	33	0	0	5,45
P35-CA6 2-10	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,015	5,575	0,977	N.D.	N.D.	N.D.	0,16	0,0769	N/A	N/A	0,3	2	12	0	1	5,55
P39 CA6 2-14	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,044	5,077	2,076	N.D.	N.D.	N.D.	0,13	0,0116	N/A	N/A	0,6	1	8	0	0	N/A



Cód	Ni Tot.	Pd Tot.	Ag Tot.	Pb Tot.	Se Tot.	Th Tot.	V Total	Zn Total	Si Total	Nitratos NO <sub>3</sub> -N	Nitritos NO <sub>2</sub> -N	N Kjeldahl Total	Amonio N	Fluoruros	P Total	Cianuro Total mg CN/L	O.D. O <sub>2</sub>	C Orgánico Total	DB O <sub>5</sub> Tot. O <sub>2</sub>	DQ O Total mg O <sub>2</sub> /L	Coliformes Fecales	Coliformes Totales	Nivel agua	
	ICP SM-3120 Ni B	ICP SM-3120 Al B	ICP SM-3120 Ag B	ICP SM-3120 Pb B	ICP SM-3120 Se B	ICP SM-3120 Ti B	ICP SM-3120 V B	ICP SM-3120 Zn B	ICP SM-3120 Si B	Ácido Cromotrópico SM*-418 D	Colorimétrico SM-4500 NO <sub>2</sub> B	Macro-Kjeldahl Total SM-4500 Norg B	Titulométrico SM-4500 NH <sub>3</sub> E	Electrodo Ion Selectivo SM-4500 F C	Colorimétrico Acido Ascórbico SM-4500 PE	Destilación-Colorimétrico SM-4500 CN C-E	Modificación de Azida SM-4500-O-C	Combustión Alta Temperatura SM-5310 B	S.M. 5210 B-AS TM D88 8-09	Reflujo Abierto SM-5220 B	Filtro de Membrana Coliformes Fecales SM 9222 D	Sustrato Enzimático Cuantitativo Coliier t SM-9223 B		
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	UFC/100 mL		NMP/100 mL
	0,003	0,0005	0,0002	0,0003	0,0015	0,002	0,0004	0,001	0,003	0,004	0,01	0,5	0,2	0,01	0,0088	0,001	0,3	0,2	1	5	1	1		
P40 CA G2-15	0,034	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,006	0,0591	2,121	22,464	0,146	0,08	44,6	N.D.	0,81	0,6696	N/A	N/A	338,4	20	1526	209	1872	4,715	
P44 CA6 2-19	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,017	7,251	0,684	N.D.	N.D.	N.D.	0,16	0,034	N/A	N/A	2	1	9	38,4	41,4	1,72	
P45 CA6 2-20	0,202	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,248	8,622	N.D.	0,03	4,4	N.D.	0,28	0,6081	N/A	N/A	26,1	31	424	26130	38730	20,77	
P47 CA6 2-22	0,011	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,0312	0,022	54,7668	4,071	0,05	0,7	N.D.	0,39	N.D.	N/A	N/A	5,6	1	12	7,5	16,1	0,475	
P36 CA G2-11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12,85
P37 CA6 2-12	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,024	6,857	1,165	N.D.	N.D.	N.D.	0,1	0,0587	N/A	N/A	0,7	2	9	0	0	-	

**Tabla 2-3.** Parámetros físico-químicos de muestras de agua subterránea recolectadas en la mina Pribbenow (Drummond) por la CGR. (18 al 23 de noviembre de 2013).

**N.D.** No detectable, concentración por debajo del límite de detección.

**Tabla 2-4.** Parámetros físico-químicos de muestras rocas, sedimentos y carbón recolectadas en la mina Pribbenow (Drummond) por la CGR. (18 al 23 de noviembre de 2013).

Cód.	Al Total	Sb Total	As Total	Ba Total	Be Total	B Total	Cd Total	Ca Total	Co Total	Cu Total	Cr Total	Sn Total	Fluoruros	Fe Total	Li Total	Mg Total
	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Al B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Sb B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 As B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Ba B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Be B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 B B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Cd B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Ca B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Co B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Cu B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Cr B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Sn B	Electrodo Ion Selectivo SM-4500 F <sup>-</sup> C	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Fe B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Li B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Mg B
	0,0005	0,003	0,0006	0,0002	0,004	0,0002	0,0035	0,01	0,004	0,0005	0,002	0,00025	0,01	0,002	0,004	0,001
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
MPL-SoS1	19108,7400	N.D.	18,7850	248,3600	1,120	14,4300	3,6600	4827,510	15,460	92,8000	61,080	35,45100	25,95	33357,296	10,513	5814,307
MPL-SoS2	17802,8800	N.D.	17,6100	189,8600	0,866	7,7800	4,6600	4662,180	16,780	74,1700	57,550	29,97000	22,34	35221,242	5,914	6676,715
MPL-SoS3	24848,4600	N.D.	6,3400	181,0900	0,991	14,4700	3,5100	6317,650	20,530	135,2300	74,210	68,96000	17,61	33272,781	12,479	7530,706
MPL-SoS4	18141,0900	N.D.	11,4950	278,6000	0,743	10,6800	4,1300	4683,215	17,170	183,6700	74,410	47,44000	18,35	34319,096	5,556	6449,594
MPL-SoBR1	20100,8800	N.D.	156,5750	237,0043	0,284	14,5425	2,9300	5368,750	18,906	75,8830	26,115	21,04500	113,50	23536,250	0,953	5762,500
MPL-SoBR2	22448,8400	N.D.	216,8050	208,4415	0,634	15,6585	4,9630	4201,800	16,444	57,1200	18,927	26,32500	109,60	34159,600	3,320	4430,450
MPL-SoBR3	19463,7250	N.D.	156,3750	227,4600	0,340	12,9520	1,1150	3173,400	18,017	83,8970	24,771	28,50000	120,50	22777,500	N.D.	4526,300
MPL-SoBR4	18766,3500	N.D.	178,5500	313,5700	N.D.	16,9430	5,2400	6868,700	16,454	115,1245	19,415	30,25000	12,40	30252,000	N.D.	4842,500
MPL-SoBR5	26659,8000	N.D.	92,0000	173,4500	N.D.	17,6590	3,0400	3364,289	13,460	129,6900	25,422	19,83000	49,52	29336,500	3,000	8347,450
MPL-SoBR6	24349,5000	N.D.	123,9900	117,7200	N.D.	24,1730	0,1380	7172,000	12,244	113,9860	23,161	47,51500	7,55	19432,500	7,320	4961,350
MPL-SoBR7	23232,1500	N.D.	216,7500	280,9050	N.D.	24,0985	2,8800	5536,050	28,353	141,7645	25,460	42,45000	5,20	34385,500	11,900	7612,500
MPL-SoBR8	22568,1000	N.D.	258,5000	242,2500	N.D.	27,7280	2,4445	3593,750	25,568	163,4750	32,152	33,30000	8,20	38968,500	N.D.	6768,000
MPL-SoBR9	21184,6500	N.D.	N.D.	344,0000	N.D.	60,8500	2,5755	6232,000	13,150	226,8700	5,514	39,35000	54,90	22944,000	N.D.	9831,500
MPL-SoBR10	45197,7000	N.D.	305,2000	326,0000	3,425	29,8680	1,0370	5153,800	17,204	186,7750	160,133	39,60000	75,18	39178,000	N.D.	10678,900
MPL-SoTR1	26374,7000	N.D.	152,8250	375,3500	0,029	22,1350	2,6750	2175,350	18,217	97,0105	26,512	36,85000	65,48	27150,600	7,605	6431,200
MPL-SoTR2	22433,4500	N.D.	N.D.	175,3100	N.D.	19,7065	13,2250	9133,350	16,847	203,3645	18,592	41,95000	6,90	16662,500	N.D.	2949,350
MPL-SoTR3	27917,0500	N.D.	164,2000	278,9500	N.D.	17,9955	2,7050	1980,750	23,248	105,0885	24,197	38,45000	14,85	24709,500	8,600	7150,000
MPL-SoTR4	25709,6000	N.D.	367,5000	195,3000	4,630	16,6520	N.D.	1867,600	12,911	70,5155	90,597	41,40000	82,40	49869,000	3,670	4814,850

Cód.	Al Total	Sb Total	As Total	Ba Total	Be Total	B Total	Cd Total	Ca Total	Co Total	Cu Total	Cr Total	Sn Total	Fluoruros	Fe Total	Li Total	Mg Total
	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Al B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Sb B	Espectros copia Emisión Plasma ICP SM-3120 As B	Espectros copia Emisión Plasma ICP SM-3120 Ba B	Espectros copia Emisión Plasma ICP SM-3120 Be B	Espectros copia Emisión Plasma ICP SM-3120 B B	Espectros copia Emisión Plasma ICP SM-3120 Cd B	Espectros copia Emisión Plasma ICP SM-3120 Ca B	Espectros copia Emisión Plasma ICP SM-3120 Co B	Espectros copia Emisión Plasma ICP SM-3120 Cu B	Espectros copia Emisión Plasma ICP SM-3120 Cr B	Espectros copia Emisión Plasma ICP SM-3120 Sn B	Electrodo Ion Selectivo SM-4500 F <sup>-</sup> C	Espectros copia Emisión Plasma ICP SM-3120 Fe B	Espectros copia Emisión Plasma ICP SM-3120 Li B	Espectros copia Emisión Plasma ICP SM-3120 Mg B
	0,0005	0,003	0,0006	0,0002	0,004	0,0002	0,0035	0,01	0,004	0,0005	0,002	0,00025	0,01	0,002	0,004	0,001
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
MPL-SoTC1	4135,4000	N.D.	N.D.	171,1000	N.D.	69,4670	N.D.	2608,200	2,988	149,4800	3,160	3,97000	5,28	4460,500	5,880	478,600
MPL-SoTC2	20548,6500	N.D.	223,4500	574,2000	N.D.	32,0985	8,0050	3345,900	17,027	223,5000	21,711	27,05000	83,90	22741,764	0,065	4893,000

**N.D.** No detectable, concentración por debajo del límite de detección.

**Tabla 2-4.** Continuación. Parámetros físico-químicos de muestras rocas, sedimentos y carbón recolectadas en la mina Pribbenow (Drummond) por la CGR. (18 al 23 de noviembre de 2013).

Cód.	Mn Total	Hg Total	Mo Total	Ni Total	Nitritos	Pd Total	Ag Total	Pb Total	K Total	Se Total	Si Soluble	Na Total	Sulfatos	Sulfuros Totales	Th Total	V Total	Zn Total
	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Mn B	Absorción Atómica, vapor frío 3112-B-Hg	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Mo B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Ni B	Colorimétrico SM-4500 NO2-B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Al B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Ag B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Pb B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 K B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Se B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Si B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Na B	Turbidimétrico SM-4500 SO4= E	Iodómetro SM-4500 S= F	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Ti B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 V B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Zn B
	0,001	0,00025	0,0002	0,003	0,01	0,0005	0,0002	0,003	0,005	0,0015	0,003	0,005	1	0,1	0,002	0,0004	0,001
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
MPL-SoS1	0,354	0,03100	4,7665	49,575	-	N.D.	3,7420	23,903	4454,890	2,9150	52,492	4855,151	2436	1886,1	25,302	84,6865	210,798
MPL-SoS2	0,427	0,19393	4,3440	55,881	-	N.D.	4,9470	13,716	4395,835	N.D.	79,537	3990,706	660	1898,3	21,141	79,8465	217,967
MPL-SoS3	0,355	N.D.	5,4165	76,918	-	N.D.	21,7260	8,498	5135,895	N.D.	69,919	8166,108	2040	1795,2	34,898	84,3360	273,126
MPL-SoS4	0,393	N.D.	3,5390	88,020	-	N.D.	4,6790	37,533	4188,835	N.D.	77,994	6423,448	671	1888,95	31,114	72,3165	359,699
MPL-SoBR1	321,850	N.D.	5,5100	56,690	-	N.D.	2,2775	23,354	5147,900	N.D.	-	4825,500	12977	672,3	17,355	80,1000	207,900
MPL-SoBR2	751,470	N.D.	5,3000	41,920	-	N.D.	2,4845	16,850	5565,400	3,2600	216,720	2106,000	829	896,5	20,185	102,7000	214,700
MPL-SoBR3	263,100	N.D.	3,2650	48,480	-	N.D.	2,5195	17,700	4591,800	N.D.	-	755,400	2624	1134,3	16,500	59,3000	177,900
MPL-SoBR4	356,300	N.D.	7,5050	50,205	-	N.D.	3,9610	36,450	6273,000	4,0667	-	3850,405	12846	422,7	42,650	92,8500	212,600
MPL-SoBR5	319,700	N.D.	2,5300	45,375	-	N.D.	3,0715	45,325	5971,500	N.D.	-	1604,000	901	506,3	28,335	50,8800	125,100
MPL-SoBR6	150,800	N.D.	0,4935	50,152	-	N.D.	4,6707	47650,000	5241,000	N.D.	-	1298,160	543	469,7	38,810	67,9250	194,200
MPL-SoBR7	710,500	N.D.	5,3500	47,499	-	N.D.	12,6775	49,400	6007,000	1,9000	-	1293,745	7137	437,8	45,000	70,2500	400,000
MPL-SoBR8	535,000	N.D.	5,4600	76,585	-	N.D.	2,2300	34,445	6309,000	N.D.	-	2416,500	924	529,1	24,550	69,2500	259,500
MPL-SoBR9	297,300	N.D.	8,3880	61,365	-	N.D.	17,7455	41,800	9043,118	N.D.	316,040	5012,000	6236	400,6	29,500	11,5600	469,000
MPL-SoBR10	455,950	N.D.	3,0350	61,200	-	N.D.	8,1350	2,060	11561,000	27,4000	215,800	2177,000	7633	470,2	60,800	137,5000	321,200
MPL-SoTR1	272,550	N.D.	2,9550	60,410	-	N.D.	4,4895	31,900	6826,700	N.D.	227,125	2068,150	2056	861,3	24,000	78,2500	213,000
MPL-SoTR2	129,700	N.D.	22,4750	99,232	-	N.D.	19,3845	47,510	7931,000	N.D.	56,000	5200,200	21627	210,1	29,625	80,4000	169,850
MPL-SoTR3	274,000	N.D.	4,9300	64,240	-	N.D.	8,1790	34,400	7283,000	N.D.	-	1428,000	643	325,7	22,550	78,4000	224,000

Cód.	Mn Total	Hg Total	Mo Total	Ni Total	Nitritos	Pd Total	Ag Total	Pb Total	K Total	Se Total	Si Soluble	Na Total	Sulfatos	Sulfuros Totales	Th Total	V Total	Zn Total
	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Mn B	Absorción Atómica, vapor frío 3112-B-Hg	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Mo B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Ni B	Colorimétrico SM-4500 NO2-B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Al B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Ag B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Pb B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 K B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Se B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Si B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Na B	Turbidimétrico SM-4500 SO4= E	Iodométrico SM-4500 S= F	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Ti B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 V B	Espectroscopía Emisión Plasma ICP SM-3120 Zn B
	0,001	0,00025	0,0002	0,003	0,01	0,0005	0,0002	0,003	0,005	0,0015	0,003	0,005	1	0,1	0,002	0,0004	0,001
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
MPL-SoTR4	120,400	N.D.	5,2500	37,855	-	N.D.	8,6135	N.D.	8246,500	1,4200	-	9710,000	897	479,4	102,600	71,0950	305,050
MPL-SoTC1	46,250	N.D.	5,6100	23,345	-	N.D.	4,6370	34,250	1367,000	N.D.	-	1687,500	330	472,2	29,200	16,4550	74,350
MPL-SoTC2	162,850	N.D.	15,4300	107,725	73,290	N.D.	5,4850	14,550	7348,000	10,1000	39,125	3166,000	198800	471,2	37,800	88,2500	416,450

**N.D.** No detectable, concentración por debajo del límite de detección.

### Anexo 3 – Estándares y Guías Internacionales de Calidad de Agua: USA, Canadá y Colombia

Parámetro	Unidades	U.S.A. (EPA)			Canada					Colombia			
		Agua consumo humano <sup>5</sup>	Agua dulce para vida acuática		Guía para Agua potable <sup>3</sup>	Guía para riego <sup>2</sup>	Guía para ganadería <sup>2</sup>	Agua dulce para vida acuática		Agua para consume humano <sup>18,9</sup>	Agricultura <sup>9</sup>	Ganadería <sup>9</sup>	Flora y Fauna LI (fría/caliente; dulce/marina)
			Guía (Agudo) <sup>1</sup>	Guía (Crónico) <sup>1</sup>				Guía (Agudo) <sup>4,6</sup>	Guía (Crónico) <sup>4,6</sup>				
pH	Un.	6.5-8.5 <sup>7</sup>		6.5-9	6.5-8.5				6.5-9.0	6,5 - 9,0	4.5-9.0		4.5-9
Alpha, Total		15 pCi/L			0.5 Bq/L								
Beta, Total		4 mrem/yr			1.0 Bq/L								
Aluminio	µg/l	50-200 <sup>7</sup>	750	87	<100-200	5000	5000		5.0-100	0,2	5000	5000	
Amonio (N)	mg/l		2.9 to 5.0	0.26-1.8					0.017-190 <sup>10</sup>	1.0			0.1 (as N)
Antimonio	µg/l	6.0			6.0					20			
Arsénico	µg/l	10	340	150	10	100	25		5.0	10	100	200	100
Boro	mg/l				5.0	0.5-6.0	5.0	29	1.5		0.3-4.0	5.0	
Cadmio	µg/l	5.0	2.0	0.25	5.0	5.1	80		0.018 <sup>11</sup>	3	10	50	10
Cloruro	mg/l	250 <sup>7</sup>	860	230	≤250 <sup>9</sup>	100-900		640	120	250.0			
Cromo (tot)	µg/l	100	16-570	11-74	50	4.9-8.0	50		1.0-8.9				
Cromo (hex)	µg/l		16	11		8.0	50		1.0	50	100	1000	10
Cloruro	mg/l	4.0 <sup>13</sup>	0.019	0.011	See <sup>16</sup>			0.0005 <sup>17</sup>		250			0.1
Cobre	mg/l	1.0 <sup>7</sup> -1.3 <sup>8</sup>	0.013 <sup>12</sup>	0.009 <sup>12</sup>	≤1.0 <sup>9</sup>	0.2-1.0	0.5-5.0		0.002 <sup>11</sup>	1.0	0.2	0.5	0.1
Cianuro (total)	µg/l		22	5.2	200					50			
Cianuro (libre)	µg/l	200							5.0	50			50
Coliformes Fecales	MPN/100ml	See <sup>14</sup>				100				0	1,000		
Coliformes Totales	MPN/100ml	See <sup>15</sup>			0	1000				0	1,000		
Fluoruros	mg/l	2.0 <sup>7</sup> -4.0			1.5	1.0	1.0-2.0		0.12	1	1.0		
Hierro	mg/l	0,3 <sup>7</sup>		1.0	≤0,3 <sup>9</sup>	5,0			0,3	0,3	5.0		0.1
Plomo	µg/l	15 <sup>8</sup>	65	2.5	10	200	100		1.0 <sup>11</sup>	10	5000	100	10
Manganeso	mg/l	0.05 <sup>7</sup>			≤0.05 <sup>9</sup>	0.2				0,1	0.2		0.1
Mercurio	µg/l	2.0	1.4	0.77	1.0		3.0		0.026	1		10	10

Parámetro	Unidades	U.S.A. (EPA)			Canada					Colombia			
		Agua consumo humano <sup>5</sup>	Agua dulce para vida acuática		Guía para Agua potable <sup>3</sup>	Guía para riego <sup>2</sup>	Guía para ganadería <sup>2</sup>	Agua dulce para vida acuática		Agua para consume humano <sup>18,9</sup>	Agricultura <sup>9</sup>	Ganadería <sup>9</sup>	Flora y Fauna L (fria/caliente; dulce marina)
			Guía (Agudo) <sup>1</sup>	Guía (Crónico) <sup>1</sup>				Guía (Agudo) <sup>4,6</sup>	Guía (Crónico) <sup>4,6</sup>				
Molibdeno	mg/l				0.01-0.05	0.50		0.073	0,07	0.01			
Níquel	mg/l		0.47	0.052	0.2	1.0		0.025 <sup>11</sup>	0,02	0.2		0.01	
Nitratos	mg/l	10			45; 10 as N	100	550	13	10		100.0		
Nitritos	mg/l	1.0			3.2; 1.0 as N <sup>9</sup>	10		0.060	0,1		10.0		
Fenoles	mg/l					0.002		0.004	0.002			1.0	
Radio	pCi/L	5.0			0.5								
Selenio	mg/l	0.05		0.005	0.01	0.02-0.05	0.05	0.001	0.01	0.02		0.01	
Plata	mg/l	0.10 <sup>7</sup>	0.0032					0.0001	0.05			0.01	
Sodio	mg/l				≤200 <sup>9</sup>								
Sulfatos	mg/l	250 <sup>7</sup>			≤500 <sup>9</sup>		1000		250				
Sulfuros	mg/l			0.002	≤0.05 <sup>9</sup>								
SDT	mg/l	500 <sup>7</sup>	250	250	≤500 <sup>9</sup>	500-3500	3000						
Talio	mg/l	0.002						0.0008					
Turbiedad	UNT	0.3-5.0 NTU			≤0.1-1.0 NTU <sup>9</sup>			8-80 NTU	2				
Uranio	µg/l	30			20	10	200	33	15				
Vanadio						0.1	0.1			0.1			
Zinc	mg/l	5 <sup>7</sup>	0.12	0.12	≤5.0 <sup>9</sup>	1.0-5.0	50	0.03	3	2.0	25.0	0.01	
Bario	mg/l								0,7				
Trihalometanos Totales	THMs								0,2				
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	HAP								0,01				
Carbono Orgánico Total	COT								0,5				

## NOTES

1. U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). 2009. National Recommended Water Quality Criteria: <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/current/upload/nrwqc-2009.pdf>.
2. Canadian Council of Ministers of the Environment. 2005. Canadian water quality guidelines for the protection of agricultural water uses: Summary table. Updated October 2005. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg. <http://st-ts.ccme.ca/>.
3. Health Canada. 2012. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality—Summary Table. Water, Air and Climate Change Bureau, Healthy Environments and Consumer Safety Branch, Health Canada, Ottawa, Ontario. [http://publications.gc.ca/collections/collection\\_2013/sc-hc/H129-24-2012-eng.pdf](http://publications.gc.ca/collections/collection_2013/sc-hc/H129-24-2012-eng.pdf).
4. Canadian Council of Ministers of the Environment. 2007. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Summary table. Updated December, 2007. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg. <http://www.halifax.ca/environment/documents/CWQG.PAL.summaryTable7.1.Dec2007.pdf>.
5. US EPA. 2009. National Primary Drinking Water Regulations: <http://water.epa.gov/drink/contaminants/upload/mcl-2.pdf>.
6. Canadian Council of Ministers of the Environment. 2012. Canada Environmental Quality Guidelines Summary Table, Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. <http://st-ts.ccme.ca/>.
7. US EPA National Secondary Drinking Water Regulations: non-enforceable guidelines regarding contaminants that may cause cosmetic effects or aesthetic effects. See <sup>5</sup>
8. Action level to control corrosiveness.
9. COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA. Decreto 1594 (26 junio, 1984). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Bogotá, D.C.: El Ministerio, 1984. 53 p.
10. Guideline for total ammonia is temperature and pH dependent, please consult factsheet for more information.
11. Guidelines are hardness-dependent, values given are if water hardness is not known; see links to equations in <sup>6</sup>
12. US EPA. 2007. AQUATIC LIFE AMBIENT FRESHWATER QUALITY CRITERIA – COPPER. Office of Water. [http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/aqlife/copper/upload/2009\\_04\\_27\\_criteria\\_copper\\_2007\\_criteria-full.pdf](http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/criteria/aqlife/copper/upload/2009_04_27_criteria_copper_2007_criteria-full.pdf)  
Presents copper guidelines for specific plant and animal species. General guidelines given from: Quality Criteria for Water, 1986 (Gold Book).
13. Represents the Maximum Residual Disinfectant Level (MRDL) regulation: The highest level of a disinfectant allowed in drinking water.
14. A routine sample that is fecal coliform-positive or E. coli-positive triggers repeat samples—if any repeat sample is total coliform-positive, the system has an acute MCL violation. A routine sample that is total coliform-positive and fecal coliform-negative or E. coli-negative triggers repeat samples—if any repeat sample is fecal coliform-positive or E. coli-positive, the system has an acute MCL violation.
15. No more than 5.0 percent samples total coliform-positive in a month. (For water systems that collect fewer than 40 routine samples per month, no more than one sample can be total coliform-positive per month.) Every sample that has total coliform must be analyzed for either fecal coliforms or E. coli. If two consecutive TC-positive samples, and one is also positive for E. coli or fecal coliforms, system has an acute MCL violation.
16. Canada has no required maximum acceptable concentration for chlorine in drinking water, but free chlorine concentrations in most Canadian drinking water systems range from 0.04 to 2.0 mg/L.
17. Includes multiple reactive chlorine species: total residual chlorine, combined residual chlorine, total available chlorine, hypochlorous acid, chloramine, combined available chlorine, free residual chlorine, free available chlorine, chlorine-produced oxidants.
18. Ministerio de la Protección Social Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 2115 del 22 de junio de 2007. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.