

REÚSO DE AGUA RESIDUAL EN EXPLOTACIÓN MINERA POR SOCAVONES

**JULIETH MANZANARES GÓMEZ
WINDDY RINCÓN LOZANO**



**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
MAESTRIA EN INGENIERIA CIVIL CON ENFASIS EN RECURSOS
HIDRÁULICOS Y MEDIO AMBIENTE
BOGOTA D.C.
2019**

REÚSO DE AGUA RESIDUAL EN EXPLOTACIÓN MINERA POR SOCAVONES

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE MAESTRIA EN
INGENIERIA CIVIL CON ENFASIS EN RECURSOS HIDRÁULICOS Y MEDIO
AMBIENTE

DIRECTOR
ING. YULY ANDREA SÁNCHEZ LONDOÑO.,I.C, ESP, MSN IC



VIGILADA MINEDUCACIÓN

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
MAESTRIA EN INGENIERIA CIVIL CON ENFASIS EN RECURSOS
HIDRÁULICOS Y MEDIO AMBIENTE
BOGOTA D.C.
2019

Bogotá, noviembre de 2019

NOTA DE ACEPTACIÓN

La tesis de maestría titulada “Reúso de agua residual en explotación minera por socavones”, presentada por Winddy Rincón Lozano y Julieth Manzanares Gómez, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Maestría en Ingeniería Civil con énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente.

YULY ANDREA SÁNCHEZ LONDOÑO
FIRMA DEL DIRECTOR DEL PROYECTO

GERMÁN RICARDO SANTOS GRANADOS
JURADO 1

PROSPERO EMIRO ROBLES BURBANO
JURADO 2

DEDICATORIA

A nuestros padres y nuestras familias

Por darnos la vida, enseñarnos poco a poco el camino en este viaje desde que nacimos hasta hoy, a todos ellos gracias por su apoyo y amor incondicional, los cuales han servido y tenemos la certeza de que servirán hoy y siempre en nuestras vidas y nuestros futuros proyectos.

A las personas que ya no están aquí

Por darnos la compañía desde el cielo, un apoyo incondicional mientras estuvieron, por guiarnos siempre por el camino correcto y por enseñarnos que no hay obstáculo que no pueda superarse si se hace con amor y sabiduría.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todas las personas que intervinieron en cada una de las etapas de este Proyecto de Grado, así como también a las que permitieron su elaboración y entrega.

Agradecimientos especiales al propietario de la mina quien hizo posible la toma de muestras y nos dieron la posibilidad de hacer un reconocimiento en sitio de la mina para tener el óptimo desarrollo de nuestro trabajo de grado, de la misma forma todos sus colaboradores quienes nos brindaron apoyo, acompañamiento y constante colaboración en lo necesario para la elaboración del presente proyecto.

De igual manera a los Ingenieros German Santos, German Acero, Alfonso Rodríguez y Yuly Sánchez quienes realizaron la orientación, acompañamiento y experiencia desde las fases de Ante Proyecto y Proyecto de grado final, respectivamente.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION	11
2. OBJETIVOS	13
2.1. OBJETIVO GENERAL	13
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. GLOSARIO.....	14
4. ANTECEDENTES.....	17
4.1. HISTORIA DEL CARBÓN EN COLOMBIA.....	17
4.2. ANTECEDENTES REÚSO DEL AGUA RESIDUAL PRODUCTO DE LA INDUSTRIA MINERA	18
4.2.1. <i>Reúso para recirculación y consumo humano.....</i>	18
4.2.2. <i>Reúso para recirculación y riego.....</i>	19
4.3. MARCO LEGAL.....	20
4.3.1. <i>Legislación de actividad minera</i>	20
4.3.2. <i>Aspectos ambientales.....</i>	22
4.3.3. <i>Licencias.....</i>	24
5. ESTADO DEL ARTE	25
5.1. GENERALIDADES.....	25
5.1.1. <i>Minería a Cielo Abierto</i>	25
5.1.2. <i>Minería Subterránea</i>	26
5.2. AGUA RESIDUAL	27
5.3. NORMATIVIDAD	28
5.3.1. <i>Resolución 1207 de 2014</i>	28
5.3.2. <i>Resolución 631 de 2015</i>	28
5.4. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA.....	31
5.5. TIPOS DE REÚSO DE AGUA RESIDUAL.....	32
5.5.1. <i>Uso agrícola:.....</i>	32
5.5.2. <i>Uso Industrial.....</i>	32
6. DESCRIPCION DEL SITIO.....	34
7. METODOLOGIA.....	40
7.1. IDENTIFICACIÓN DE LA NORMATIVIDAD APLICABLE	40
7.2. TOMA DE MUESTRAS.....	40
7.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE MUESTREO	42
8. RESULTADOS	45

8.1.	RESOLUCIÓN 0631 DE 2015	48
8.2.	RESOLUCIÓN 1207 DE 2015 USO AGRÍCOLA	49
8.3.	RESOLUCIÓN 1207 DE 2014 REÚSO INDUSTRIAL	52
9.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	55
9.1.	RESOLUCIÓN 0631 DE 2015	55
9.2.	RESOLUCIÓN 1207 DE 2015 USO AGRÍCOLA	56
9.2.1.	<i>Reúso agrícola N° 1</i>	56
9.2.2.	<i>Reúso agrícola N° 2</i>	64
9.3.	RESOLUCIÓN 1207 DE 2014 USO INDUSTRIAL	65
9.3.1.	<i>Reúso industrial N° 1</i>	65
9.3.2.	<i>Reúso industrial N° 2</i>	71
9.3.3.	<i>Reúso industrial N° 3</i>	72
9.3.4.	<i>Reúso industrial N° 4</i>	72
10.	CONCLUSIONES	73
11.	REFERENCIAS	76
	ANEXOS	80

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Legislación Minera	21
Tabla 2 Legislación Ambiental	23
Tabla 3 Marco Legal para el Licenciamiento Minero	24
Tabla 4 Ilustración Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles, en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas a cuerpos de aguas superficiales de actividades de minería.....	30
Tabla 5 Clasificación contaminantes químicos	32
Tabla 6 Lugar de toma de los parámetros.....	41
Tabla 7 Resultados de Análisis de laboratorio y mediciones en sitio.	45
Tabla 8 Comparación de resultados con la Resolución 0631 del 2015.....	48
Tabla 9 Comparación de resultados con la Resolución 1207 de 2014 Uso Agrícola	50
Tabla 10 Comparación de resultados con la Resolución 1207 de 2014 Uso Industrial.....	52
Tabla 11 Resultados obtenidos por los propietarios de la mina.....	55
Tabla 12 Resultados de (Muñoz B & Paredes B, 2014) de la concentración de fenoles por el tratamiento con ozono de una muestra de agua de una refinería en Ecuador	69

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ciclo de extracción del carbón- Minería a Cielo abierto	25
Ilustración 2.Ciclo de beneficio del carbón	26
Ilustración 3.Ciclo de extracción de carbón subterráneo.....	27
Ilustración 4.Localización mina de carbón estudiada	34
Ilustración 5.Entrada al socavón	35
Ilustración 6.Vagonetas de transporte	35
Ilustración 7.Localización de malacate	36
Ilustración 8.Llegada de las vagonetas a las tolvas de almacenamiento	36
Ilustración 9.Tolvas de madera para almacenamiento	37
Ilustración 10.Sedimentadores	37
Ilustración 11 Tanque de sedimentación primaria	38
Ilustración 12 Tanque de sedimentación secundaria.....	39
Ilustración 13.Nevera con sustancias para conservar muestras.....	43
Ilustración 14.Solidos sedimentables.....	43
Ilustración 15.Medición de temperatura.....	44
Ilustración 16.Medicion de pH	44
Ilustración 17.Osmosis inversa, filtros y suavizantes para la eliminación de solidos disueltos totales	63
Ilustración 18. Jacinto de agua (Eichhornia crassipes).....	67
Ilustración 17. Tratamiento de aguas residuales con Jacinto de Agua	68

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Resultados de laboratorio, parámetros evaluación según Resolución 0631 de 2015 y Resolución 1207 de 2014.....	81
Anexo 2 Resultados de laboratorio obtenidos por propietarios de mina en Paipa.	87
Anexo 3 Comunicado confidencialidad.....	88

1. INTRODUCCION

De acuerdo con los reportes de la Administración de Información de Energía de los Estados Unidos (EIA), Colombia fue el quinto país exportador a nivel mundial de carbono en 2015 después de Indonesia, Australia y Estados Unidos, lo que ocasionó un aumento de los recursos en Colombia.

Los recursos de carbón en Colombia pasaron de 1120 millones de toneladas en el año 2004 a 6160 millones de toneladas de reservas de carbón en el año 2016. A partir del año 1940, fecha para la cual existe el primer reporte de producción de carbón en el Sistema de Información Minero Colombiano (SIMCO), se ha pasado de producir 1.150.000 ton/año a 90.511.989 ton/año en el año 2016, incrementándose la tendencia de producción a partir del año 1984. Para el año 2016, las exportaciones mineras alcanzaron un valor de USD\$6.769,4 millones FOB (Free On Board), lo que representó un aporte del 21,81% a las exportaciones del país. Siendo el carbón el principal mineral de exportación colombiana, con una participación cercana al 68,53% de las exportaciones mineras totales. No obstante, en Colombia se producen dos tipos de carbón entre los cuales se divide este porcentaje.

El carbón que más se produce en Colombia es el térmico, con un porcentaje de 94%, seguido del metalúrgico con un porcentaje de 5% y antracita con un porcentaje de 1%. Cuya principal característica es que está relativamente limpio de azufre, con un contenido inferior al 1% por lo que sus acondicionamientos no requieren de procesos complejos de desulfuración. Para realizar la extracción del carbón existen dos métodos: A cielo abierto o subterránea.

Con relación a la extracción a cielo abierto corresponde a las explotaciones mineras que se desarrollan en la superficie del terreno y la extracción subterráneas corresponde a la explotación de recursos mineros que se desarrolla por debajo de la superficie del terreno o como su nombre lo indica consiste en extraer el mineral a través de túneles o socavones. Es el sistema de mayor utilización en el mundo, ya que por este sistema se explotan las dos terceras partes de la producción mundial.

Con relación a la extracción subterránea de carbón, las principales dificultades corresponden:

- Suministro de agua, la escasez y restricciones regulatorias a nivel global que están cambiando la visión del manejo de aguas en la minería.

- Los flujos de agua que son bombeados con cargas de sedimentos, o en épocas de lluvia parte del suelo intervenido es arrastrado hacia los cauces de agua provocando contaminación de las fuentes de agua superficiales.
- Algunas de las minas de carbón liberan drenajes ácidos, por una reacción de los sulfuros contenidos en el carbón, que pueden convertirse en una fuente de contaminación debido a su capacidad de disolver metales pesados, con los cuales se reduce la calidad del agua y se afecta el ecosistema acuático.
- La extracción de agua subterráneas de las zonas de explotación carbonífera puede producir abatimiento del nivel freático por el flujo de agua en dirección a los tajos mineros, ya sea de manera natural, o por extracción mediante bombeo.
- Por otra parte, la problemática ambiental y social, asociada al recurso hídrico se hace evidente cuando se presenta la desecación o desvío de cuerpos de agua; asociadas a las actividades mineras.

Para disminuir los impactos nombrados anteriormente, con este trabajo de grado se evaluarán los posibles reúsos del agua residual producto de la extracción minera por socavones; como un componente principal en la operación de la misma. Ya que, esto permitirá el correcto manejo, utilización y posible vertimiento de las aguas residuales. Disminuyendo la cantidad de aguas vertidas en unas condiciones no aptas para las fuentes de agua y generando usos alternativos para las mismas.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el posible reúso del agua residual producto de la extracción de carbón por socavones.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer los posibles reúsos del agua en general.
- Realizar una visita de campo a la mina de carbón para reconocer sus características físicas.
- Realizar una caracterización química y física del agua subterránea extraída de la mina de carbón.
- Mejorar el uso del recurso hídrico extraído.
- Disminuir el efecto negativo de la explotación de carbón a los afluentes cercanos.
- Determinar los reúsos específicos para el agua residual producto de la extracción minera por socavones.
- Establecer los posibles tratamientos para el reúso del agua residual.

3. GLOSARIO

- **Socavón:** Excavación en roca con una sola entrada desde superficie, de una baja pendiente y una geometría tal que permite el libre tránsito de personal y/o maquinarias. (Ministerio de Minería Cobierno de Chile, 2019).
- **Reúso:** “Cuando el Usuario Receptor es el mismo Usuario Generador”. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 25 Julio 2014, pág. 2).
- **Agua residual tratadas:** “Son aquellas aguas residuales, que han sido sometidas a operaciones o procesos unitarios de tratamiento que permiten cumplir los criterios de calidad requeridos para su reúso”. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 25 Julio 2014, pág. 2).
- **Aguas residuales no domésticas – ARnD:** “Son las procedentes de las actividades industriales, comerciales o de servicios distintas a las que constituyen aguas residuales domésticas”. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 17 de marzo de 2015, pág. 2).
- **Extractivismo:** “Proviene de la expresión extracción. Cuando se elimina un recurso (minerales, petróleo, agricultura, ganadería, silvicultura, etc.) El entorno natural, luego lo vende en el mercado, por lo general internacional.” (Observatorio de conflictos mineros de America Latina, 2013).
- **Nivel freático:** “El nivel freático puede definirse como el nivel superior del agua en un acuífero o más correctamente como el lugar donde la presión del agua es igual a la de la presión atmosférica”. (Geotecnia Facil, 2018).
- **Remoción de capa vegetal o descapote:** “Consiste en la extracción del suelo y la capa vegetal que cubre el depósito y permitirá el acceso al mismo, es la primera operación dentro del desarrollo minero y la preparación de los bancos de explotación”. (Ministerio de minas y energía-Unidad de planeación minero energetica y Universidad de Cordoba, 2015, pág. 24).
- **Extracción de estéril:** “Se trata de la extracción de las capas de material estéril se ubica entre los mantos de carbón dentro de un depósito específico. Dado que este material no es de interés económico debe retirarse de forma separada al carbón y llevarse a botaderos diseñados para acopiar dicha roca estéril.” (Ministerio de minas y energía-Unidad de planeación minero energetica y Universidad de Cordoba, 2015, pág. 24).

- **Extracción del carbón:** “Una vez se realiza la preparación de los bancos y se realizan las vías de acceso a la mina tanto internas como externas, se procede a extraer el carbón, estas, al igual que para la remoción del estéril, están determinadas por el método de explotación seleccionado. Antes, es necesario realizar la limpieza del manto de carbón” (Ministerio de minas y energía-Unidad de planeación minero energética y Universidad de Córdoba, 2015, pág. 24).
- **Acopio:** El acopio o almacenamiento de carbón se hace con el fin de compensar las diferencias que existen entre producción, transporte y despachos de carbón (consumo). Los sistemas de almacenamiento de carbón más utilizados son las pilas y los silos. (Ministerio de minas y energía-Unidad de planeación minero energética y Universidad de Córdoba, 2015, pág. 24).
- **Tamizado o clasificación por tamaño:** “Esta operación busca la clasificación o separación del material mediante mallas que controlan el paso del material según el tamaño requerido por el cliente”. (Ministerio de minas y energía-Unidad de planeación minero energética y Universidad de Córdoba, 2015, pág. 26).
- **Arranque:** La perforación y la voladura son las actividades fundamentales para adelantar las labores de desarrollo, preparación y explotación. Los equipos son seleccionados de acuerdo con las características y requerimientos asociados con la combustión del carbón”. (Ministerio de minas y energía-Unidad de planeación minero energética y Universidad de Córdoba, 2015, pág. 26).
- **Secado:** consiste en la disminución de humedad mediante calentamiento mecánico del carbón. (Ministerio de minas y energía-Unidad de planeación minero energética y Universidad de Córdoba, 2015, pág. 26).
- **Sostenimiento:** “Esta operación unitaria garantiza la estabilidad de las obras subterráneas, esta puede ser temporal o definitiva, dependiendo del sitio en que se utilice. Normalmente se utilizan pernos, cables, arcos de acero, concreto lanzado o concreto en vías de larga duración, mientras que en vías temporales o de corta vida se utiliza madera”. (Ministerio de minas y energía-Unidad de planeación minero energética y Universidad de Córdoba, 2015, pág. 13).
- **Desagüe:** “Esta operación unitaria consiste en evacuar las aguas resultantes durante la actividad minera. Estas pueden ser percolantes, infiltradas de fuentes superficiales o introducidas por el hombre para las actividades

mineras.” “El desagüe puede conseguirse por gravedad o por bombeo, cabe resaltar que esta calidad del agua es un parámetro importante para la selección de los equipos de bombeo.”⁷ Dentro de los equipos más utilizados para realizar esta operación se encuentran las bombas de Achique. El desagüe es el proceso de mayor atención dentro del ciclo explotación minera en cuanto al objetivo principal de esta guía, debido a que es la única que genera un vertimiento, estas aguas de mina provenientes de los socavones auríferos contienen una cantidad de contaminantes entre ellos se destacan los elementos que contengan la roca de caja del depósito mineral como (hierro, plomo, sílice, arsénico, entre otros), además de traer una cantidad de sólidos suspendidos. (Ministerio de minas y energía-Unidad de planeación minero energética y Universidad de Córdoba, 2015, pág. 13).

4. ANTECEDENTES

A continuación, se relacionan los antecedentes con relación a la minería de carbón en Colombia.

4.1. HISTORIA DEL CARBÓN EN COLOMBIA

El carbón es llamado un mineral energético ya que contiene la energía solar almacenada más de 250 millones de años, al ser expuesto a la combustión es transformado nuevamente en calor. También es utilizado para fabricar aceros cuando se genera la aleación con hierro.

El carbón fue un elemento fundamental para el proceso de industrialización del siglo XVII, por medio de este se generó movimiento en las máquinas de vapor lo cual genero el aumento exponencial de la extracción de este. En Colombia para el año 1940, se reporta por parte de la UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética del Ministerio de Minas y Energía) una producción nacional de carbón de 1.15 millones de toneladas, que provenían en su mayoría de las minas ubicadas en Antioquia, Boyacá, Cundinamarca y el Valle del Cauca.

Las cantidades registradas al inicio del siglo XX eran utilizadas para alimentar las calderas de las locomotoras a vapor en la construcción del interoceánico de Panamá en 1850. Posteriormente en Barranquilla para el año 1868 se implementaron los puertos fluviales siendo un factor determinante del desarrollo de la industria de transporte. En Antioquia la construcción del ferrocarril fue en el año 1874, que posteriormente comunicaría en 1927 al departamento de Antioquia con el río Magdalena por medio del Túnel de la Quebra. Los primeros buques a vapor que comenzaron a navegar por los ríos y mares colombianos funcionaban con leña y carbón.

En mayo de 1864 el ingeniero civil norteamericano John May realizo una exploración en la mina del Cerrejón que le permitió descubrir depósitos de carbón que le llamaron su atención por la calidad del mineral y sugirió construir el ferrocarril y el muelle para impulsar la explotación y exportación del carbón en la zona donde estaba ubicado el Cerrejón.

La consolidación de la industria carbonífera en el siglo XX, comienza a mediados de los años 40 con la creación de la ley 45 de 1947 en el mandato del presidente de la república Gustavo Rojas Pinilla con el fin de promover la industrialización en el todo el país y que concluyo con la creación de la importante empresa siderúrgica nacional Paz de Río; con el antecedente de la firma del tratado del acero y carbón firmado en Europa y que fue el pilar fundamental para la creación de la unión

Europea. Paz de Río se abasteció de carbón desde sus inicios, entre otras de la mina La Chapa, una de las minas subterráneas más tecnificadas del país en toda su historia, con el método de tajo largo con derrumbe dirigido y sostenimiento de túneles con tecnología hidráulica.

En el año 1991, después de haber firmado la nueva constitución política de Colombia se ratificó la propiedad del subsuelo y de los recursos no renovables por parte del gobierno nacional y dispuso como principal planeador y administrador a la Empresa Colombiana de Carbones (Eco carbón) en asociación con Intercol de la comercialización y exportación del carbón principalmente del mineral proveniente de la zona norte del Cerrejón.

Después de los procesos de racionalización del gasto público por medio del decreto 1679 en el año 1997 se fusionan Eco carbón y Mineralco para crear un ente que se encargara de manera absoluta de los recursos mineros dando origen a la Empresa Minera Nacional

Mediante el decreto 254 del 28 de enero de 2004 se ordena la disolución y liquidación de la Empresa Minera Nacional. El Ministerio de Minas y Energía delega a Ingeominas y a las gobernaciones de Antioquia, Bolívar, Boyacá, Caldas, Cesar y Cundinamarca funciones determinantes para la administración de los recursos mineros, contratación para la exploración y explotación de los recursos mineros promoviendo el desarrollo de una minería auto sostenible e impulsar al constante crecimiento tecnológico del transporte para todos los productos provenientes del desarrollo de la minería colombiana.

Actualmente, Colombia cuenta con la mayor reserva de carbón de la región latinoamericana siendo el sexto exportador mundial de este mineral con una participación en los mercados internacionales de 6,3%. Representa cerca del 47% del total de la minería Colombia y el 1% el PIB. El carbón se consolidará como el primer producto de exportación del país.

4.2. ANTECEDENTES REÚSO DEL AGUA RESIDUAL PRODUCTO DE LA INDUSTRIA MINERA

A continuación, se relacionan los antecedentes con relación al reúso del agua residual producto de la extracción minera de carbón por socavones:

4.2.1. Reúso para recirculación y consumo humano

“Gold Fields La Cima S.A.A. (Gold Fields) es titular de la unidad minera Cerro Corona ubicada en el distrito y provincia de Hualgayoc, en el departamento de Cajamarca, a aproximadamente 80 Km al noroeste de la ciudad de Cajamarca. Para

el desarrollo de actividades mineras en dicho lugar, Gold Fields cuenta con los estudios de impacto ambiental del proyecto Cerro Corona (EIA de Cerro Corona), aprobado por el Ministerio de Energía y Minas (MEM) mediante Resolución Directoral N.º 514-2005-MEM/AAM del 2 de diciembre de 2005.

El EIA de Cerro Corona fue modificado mediante Resolución Directoral N.º 021-2010-MEM-AAM del 20 de enero de 2010 con la finalidad de implementar el proyecto de Nueva Planta de Óxidos, que consiste en construir una planta que recupere los valores metálicos minerales oxidados, los cuales proviene de las pilas del proyecto (lugar donde se almacena el mineral extraído).

De acuerdo con la modificación del EIA de Cerro Corona, la planta de óxidos se operaría mediante el uso de un flujo de agua proveniente del depósito de relaves, el cual almacena aguas de lluvia y de proceso. Asimismo, las aguas residuales provenientes de la planta de óxidos serían tratadas para luego ser usadas como agua de proceso y agua potable.

En tal sentido, se aprecia que el proyecto de la Nueva Planta de Óxidos previó los siguientes sistemas de reúso de aguas:

- **Reúso industrial:** La modificación del EIA previó que, como primera etapa, el agua de proceso del depósito de relaves sea reusada (recirculada) en la planta de óxidos; y, como segunda etapa, que el 66 % de agua residual de la planta de óxidos sea reusada como agua de proceso, principalmente en las etapas de molienda, cianuración y espesamiento pos lixiviación.
- **Reúso doméstico:** la modificación del EIA previó que parte del 34 % del agua residual de la planta de óxidos sea tratada y luego reusada como agua potable para los servicios higiénicos, laboratorio.

Respecto al agua a ser reusada para consumo humano (reúso ambiental), la modificación del EIA de Cerro Corona estableció que esta debía cumplir con los estándares de calidad de agua potable, por lo cual se entiende que deberá cumplir con los valores máximos establecidos en el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, aprobado mediante Decreto Supremo N° 031-2010-SA". (González González & Chiroles Rubalcaba, 2011, pág. 14).

4.2.2. Reúso para recirculación y riego

“La compañía minera Antamina S.A.(Antamina) es titular de la unidad minera Antamina ubicada en el distrito de San Marcos, provincia de Huari, en el departamento de Áncash. Para el desarrollo de actividades mineras en dicho lugar, Antamina cuenta con el estudio de impacto ambiental del proyecto Incremento de

Reservas y Optimización del Plan de Minado de Antamina (EIA de Antamina), aprobado por el MEM mediante Resolución Directoral N.º 091-2008-MEM/AAM del 22 de abril del 2008 y modificado mediante Resolución N.º 054-2011-MEM-AAM.

De acuerdo con el EIA de Antamina, las aguas residuales de las instalaciones de la planta de filtrado de Huarmey serían reusadas para el riego de forestación en un área de 157,96 ha. Asimismo, dicho EIA estableció que la planta concentradora operaría con agua reciclada proveniente del depósito de relaves y con agua proveniente de la presa de agua fresca (Dam D).

En tal sentido, se aprecia que el proyecto Incremento de Reservas y Optimización del Plan de Minado de Antamina previó los siguientes sistemas de reúso de aguas:

- **Reúso industrial:** el EIA de Antamina previó que el agua de proceso del depósito de relaves sea reusada en la planta concentradora (recirculación). Cabe señalar que el EIA estableció que se maximizaría el reúso del agua de proceso para reducir los requerimientos de agua fres.
- **Reúso ambiental:** las aguas residuales de las instalaciones de la planta de filtrado de Huarmey serían tratadas y reusadas para el riego de forestación en un área de 157,96 ha, conformada por especies arbóreas tales como la *acacia saligna*, el algarrobo, los tamarix, la casuarina y el palo verde, mediante el sistema de riego por micro aspersión.

Respecto al agua a ser reusada para riego de forestación (reúso ambiental), corresponde indicar que no está comprendida en las clasificaciones de ECA para agua y calidad de agua para consumo humano. En tal sentido, el agua residual debería ser comparada con los LMP". (González González & Chiroles Rubalcaba, 2011, pág. 15).

4.3. MARCO LEGAL

A continuación, se describe la legislación minera y ambiental aplicable a la actividad minera.

4.3.1. Legislación de actividad minera

En la Tabla 1 se relaciona legislación minera aplicable en Colombia.

Tabla 1 Legislación Minera

NORMA	ALCANCE
Resolución 222 de 1994	Determinan zonas compatibles para la explotación minera de materiales de construcción en la Sabana de Bogotá y se dictan otras disposiciones.
Resolución 1277 de 1996	Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 222 del 3 de agosto de 1994 y se dictan otras disposiciones.
Decreto 622 de 1997	Por el cual se reglamentan parcialmente el capítulo V, título II, parte XIII, libro II del Decreto- Ley número 2811 de 1974 sobre «sistema de parques nacionales»; la Ley 23 de 1973 y la Ley 2 de 1959.
Ley 685 de 2001	Derogada por el art. 19, Resolución Min. Ambiente 2001 de 2016. Por la cual se establecen las zonas compatibles con la minería de materiales de construcción y de arcillas en la Sabana de Bogotá, se sustituye la Resolución número 0813 del 14 de julio de 2004 y se adoptan otras determinaciones.
Resolución 813 de 2004	Por la cual se redefinen y establecen las zonas compatibles con la minería de materiales de construcción y se definen y6 establecen las zonas compatibles con la minería de arcillas en la Sabana de Bogotá, se sustituyen las Resoluciones números 0222 de 1994, 249 de 1994, 1277 de 1996 y 0803 de 1999 y se adoptan otras determinaciones.
Decreto 1160 de 2006	Por el cual se adoptan medidas para garantizar el derecho de prelación en caso de empate en la presentación de propuestas de contratos de concesión minera.
Ley 1382 de 2010	Por el cual se modifica la ley 685 de 2001 código de minas
Ley 14 de 2011	Plan Nacional de Desarrollo, introduce algunas modificaciones sobre multas, reservas mineras estratégicas, prohibiciones a la minería por razones ambientales, plan nacional de ordenamiento minero, adiciona causales de caducidad y suspensión por razones de seguridad minera, control a la explotación ilícita.
Resolución 205 de 2013	Se establece el procedimiento para la declaración y delimitación de Áreas de Reserva Especial de qué trata el artículo 31 de la Ley 685 de 2001.

NORMA	ALCANCE
Decreto 2041 de 2014	Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales.
Decreto 1073 de 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo de Minas y Energía
Decreto 0276 de 2015	Por el cual se adoptan medidas relacionadas con el Registro Único de Comercializadores –RUCOM.
Ley 1753 de 2015	“Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 “Todos por un nuevo país”.
Decreto 1666 de 2016	Por el cual se adiciona el decreto único reglamentario del sector administrativo de minas y energía, 1073 de 2015, relacionado con la clasificación minera.
Resolución 908 de 29 de agosto de 2016	Por el cual se establecen los criterios para la elaboración, evaluación y ejecución de los planes de gestión social, de conformidad con lo establecido por el artículo 22 de la ley 1753 de 2015.
Resolución 41107 de 2016	Por la cual se incluyen y modifican algunos términos del glosario técnico minero
Resolución 958 de 2016	Por la cual se modifica la Resolución No. 368 del 26 de mayo de 2016.
Resolución 422 de 2016	Por medio de la cual se establece el procedimiento para la terminación de la aprobación del subcontrato de formalización minera.
Resolución 2001 de 2016	Por la cual se determinan zonas compatibles con las explotaciones minera en la sabana de Bogotá y se adoptan otras determinaciones

Fuente: Elaboración Propia

4.3.2. Aspectos ambientales

Dentro de la actividad minera se ven afectados los recursos hídricos y atmosféricos. En la Tabla 2 se presenta la normativa relacionada con el uso del reúso hídrico y atmosférico que se debe tener en cuenta para el desarrollo de la actividad minera.

Tabla 2 Legislación Ambiental

NORMA	ALCANCE
Decreto 2811 de 1974	Se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección del medio ambiente, fundado principalmente en que el ambiente es patrimonio común de la humanidad y necesario para la supervivencia, desarrollo económico y social de las comunidades.
Ley 373 de 1997	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua
Resolución 0627 de 2006	Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental.
Resolución 918 de 2011	Por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para la sustracción de áreas en las reservas forestales nacionales y regionales, para el desarrollo de actividades consideradas de utilidad pública o interés social y se adoptan otras determinaciones.
Resolución 610 de 2010	Por la se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006, la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia.
Resolución 3930 de 2010	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones
Decreto 2767 de 2012	Por el cual se reglamenta las tasas retributivas por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras disposiciones.
Decreto 1374 de 2013	Por medio del cual se establecen parámetros para el señalamiento de unas reservas de recursos naturales de manera temporal y se dictan otras disposiciones.
Resolución 631 de 2015	Por la cual se establecen los parámetros y lo valores máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.

NORMA	ALCANCE
Decreto 1076 de 2015	Decreto único reglamentario del sector de ambiente y desarrollo sostenible

Fuente: Elaboración Propia

4.3.3. Licencias

La normativa para el proceso de licenciamiento minero se presenta a continuación.

Tabla 3 Marco Legal para el Licenciamiento Minero

NORMA	ALCANCE
Decreto 3573 de 2011	Por el cual se crea la Autoridad Nacional de licencias ambientales –ANLA-y se dictan otras disposiciones.
Decreto 2041 de 2014	Por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales.

Fuente: Elaboración Propia

5. ESTADO DEL ARTE

5.1. GENERALIDADES

A continuación, se describen los procesos de explotación de carbón, tanto a cielo abierto como por socavones. Con el fin de evidenciar las etapas donde se demanda agua, determinar las fases donde se generan vertimientos a afluentes de agua, como durante la etapa de desagüe de las minas subterráneas, y en las operaciones a cielo abierto se genera vertimiento de las aguas de escorrentía de los botaderos y pits.

5.1.1. Minería a Cielo Abierto

A continuación, se relacionan las etapas de minería a cielo abierto:

5.1.1.1. Etapa de Explotación

En el ciclo de explotación de carbón a cielo abierto se llevan a cabo los procesos descritos en la Ilustración 1: En primer momento se realiza el descapote del terreno, posteriormente se realiza la preparación y desarrollo de las funciones requeridas para empezar a explotar el carbón, consecutivamente se realiza el cargue y transporte del mismo, al lugar de acopio y se disponen los estériles. En este ciclo se debe tener en cuenta que no se generan vertimientos a afluentes de agua. Ya que, en la minería de carbón a cielo abierto los vertimientos son generados por las aguas de escorrentía en infiltración de los botaderos de estéril y del pit.

Ilustración 1. Ciclo de extracción del carbón- Minería a Cielo abierto



Fuente: (Ministerio de minas y energía-Unidad de planeación minero energética y Universidad de Córdoba, 2015, pág. 23)

5.1.1.2. Etapa de beneficio

A continuación, se describirán las etapas de beneficio del carbón, teniendo en cuenta que solo la etapa de lavado genera un vertimiento.

Ilustración 2. Ciclo de beneficio del carbón



Fuente: (Ministerio de minas y energía-Unidad de planeación minero energética y Universidad de Córdoba, 2015, pág. 25)

La primera etapa de beneficio es denominada trituración, posteriormente de tener el carbón triturado se inicia la etapa de tamizado, lavado y secado del material. Ulteriormente se realiza la etapa de mezcla de carbones para iniciar nuevamente con la trituración.

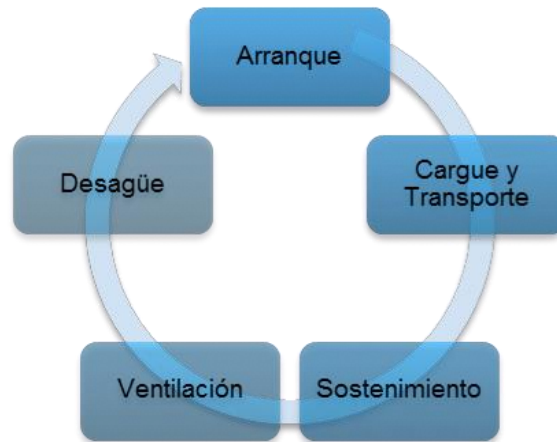
5.1.2. Minería Subterránea

A continuación, se relacionan las etapas de minería subterránea o por socavones:

5.1.2.1. Etapa de explotación

Durante el ciclo de extracción de carbón, se llevan a cabo las operaciones que se mencionarán en la Ilustración 3, debe tenerse en cuenta que cuando se ejecuta la operación de arranque mediante perforación y voladura, en algunos casos, se utiliza agua para la lubricación de la barrena y el control de detritos.

Ilustración 3. Ciclo de extracción de carbón subterráneo.



Fuente: (Ministerio de minas y energía-Unidad de planeación minero energética y Universidad de Córdoba, 2015, pág. 27)

5.1.2.2. Etapa de beneficio

Las etapas de beneficio del carbón subterráneo son las mismas que para el carbón explotado mediante minería a cielo abierto mostradas en la Ilustración 2.

5.2. AGUA RESIDUAL

Las aguas residuales son aquellas aguas cuyas características iniciales han sido transformadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado.

- **Aguas residuales domésticas:**

Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana y deben ser dispuestas adecuadamente.

- **Aguas residuales industriales:**

Son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras.

- **Aguas residuales municipales:**

Son aquellas aguas residuales domesticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado tipo combinado.

5.3. NORMATIVIDAD

A continuación, se nombran y se da un breve recuento de la normativa utilizada en el presente trabajo:

5.3.1. Resolución 1207 de 2014

La Resolución 1207 de 2014 fue expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible el 25 de julio de 2014. Con el fin de proteger los recursos naturales, planificar el uso y aprovechamiento de los recursos, para garantizar su conservación, restauración y uso sostenible. Cuyo principal objetivo es “establecer las disposiciones relacionadas con el uso del agua residual tratada y no aplica para su empleo como fertilizante o acondicionador de suelos” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 25 Julio 2014, pág. 2)

En esta resolución se describen la normativa sobre el reúso y vertimientos de agua residual a afluentes de agua naturales, así como se establecen los posibles usos de esta agua:

- Uso agrícola
- Uso industrial

Se establecen los criterios de calidad según los usos nombrados anteriormente, las distancias mínimas de retiro para el desarrollo del reúso, las prevenciones para tener en cuenta, monitoreo y seguimiento necesario para garantizar la calidad del agua.

5.3.2. Resolución 631 de 2015

La Resolución 631 de 2015 fue expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible el 17 de marzo de 2015 la cual establece “los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas residuales y a los sistemas de alcantarillado público” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 17 de marzo de 2015, pág. 1).

En esta Resolución se establecen:

- **Capítulo I:** Disposiciones generales.
- **Capítulo II:** Disposiciones aplicables a los vertimientos puntuales de aguas residuales.
- **Capítulo III:** Los valores límites máximos permisibles microbiológicos en vertimientos puntuales de aguas residuales (ARD y ARnD) a cuerpos de aguas superficiales.
- **Capítulo IV:** Parámetros de ingredientes activos de plaguicidas de las categorías toxicológicas IA, IB y II y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas a cuerpos de aguas superficiales y al alcantarillado público.
- **Capítulo V:** Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domésticas y de las aguas residuales de los prestadores de servicio públicos de alcantarillado a cuerpos de aguas superficiales.
- **Capítulo VI:** Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas a cuerpos de aguas superficiales.
- **Capítulo VII:** Actividades industriales, comerciales o de servicios diferentes a la complementadas en los capítulos V y VI con vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales.
- **Capítulo VIII:** Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas al alcantarillado público.
- **Capitulo IX:** Disposiciones finales.

Para el desarrollo del presente trabajo de grado se tendrá en cuenta el del capítulo XI de la resolución: “Artículo 10: Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles, en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas – a cuerpos de agua superficiales de actividades de minería”. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 17 de marzo de 2015, pág. 10).

En la Tabla 4 se nombran los parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles, en los vertimientos puntuales de aguas residuales no

domesticas a cuerpos de aguas superficiales de actividad de minería específicamente para la minería de carbón.

Tabla 4 Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles, en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas a cuerpos de aguas superficiales de actividades de minería.

PARÁMETRO	UNIDADES	LIMITE PERMISIBLE
pH	Unidades de pH	6.00 a 9.00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	150
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	50
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	50
Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	2
Grasas y Aceites	mg/L	10
Fenoles	mg/L	0.2
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte
Hidrocarburos		
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	10
Hidrocarburos aromáticos Policíclicos (HAP)	mg/L	Análisis y Reporte
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	mg/L	Análisis y Reporte
Compuestos Orgánicos Halogenados Absorbibles (AOX)	mg/L	Análisis y Reporte
Compuestos de Fósforo		
Ortofosfatos (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	Análisis y Reporte
Fosfato Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte
Compuestos de Nitrógeno		
Nitratos (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte
Nitritos (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte
Nitrógeno Amoniacal (N-NH ₃)	mg/L	Análisis y Reporte
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte
Iones		
Cianuro Total (CN ⁻)	mg/L	1
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	500
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	1200
Sulfatos (S ₂ ⁻)	mg/L	1
Metales y Metaloides		
Arsénico (As)	mg/L	0.1

PARÁMETRO	UNIDADES	LIMITE PERMISIBLE
Cadmio (Cd)	mg/L	0.05
Cinc (Zn)	mg/L	3
Cobre (Cu)	mg/L	1
Cromo (Cr)	mg/L	0.5
Hierro (Fe)	mg/L	2
Mercurio (Hg)	mg/L	0.002
Níquel (Ni)	mg/L	0.5
Plata (Ag)	mg/L	0.5
Plomo (Pb)	mg/L	0.2
Metales y Metaloides		
Acidez Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Dureza Cálcica	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte
Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436nm, 525 nm y 620 nm)	m-1	Análisis y Reporte

Fuente: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 17 de marzo de 2015)

5.4. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA

Según la Resolución 0631 se deben monitorear los parámetros descritos en la Tabla 4. Sin embargo, para tener una caracterización de las aguas residuales producto de la extracción de carbón por socavones se va para tener en cuenta:

Las aguas que estudiar son subterráneas, por lo cual, se clasificaron los contaminantes químicos como se muestra en la Tabla 5, donde se determinarán los contaminantes antropogénicos, medida de concentración en aguas residuales y demanda bioquímica de oxígeno.

Tabla 5 Clasificación contaminantes químicos

QUIMICOS	Químicos corrientes	Metales tóxicos, como el hierro, manganeso, plomo, mercurio, cadmio, cobre, entre otros
		Compuestos nitrogenados, como amoniaco, nitrato y nitrito, carbonato o bicarbonato de calcio y magnesio.
		Aniones, como fluoruro, sulfatos y silicatos.
	Sustancias orgánicas	
	Carácter antropogénico	Cianuros y fenoles

Fuente: Elaboración Propia

5.5. TIPOS DE REÚSO DE AGUA RESIDUAL

Según la Resolución 1207 de 2014 en el Artículo 6. se establecen los usos para el agua residual tratada:

5.5.1. Uso agrícola:

- Cultivos de pastos y forrajes para consumo animal.
- Cultivos no alimenticios para humanos o animales.
- Cultivos de fibras celulósicas y derivados.
- Cultivos para la obtención de biocombustibles (biodiesel y alcohol carburante) incluidos lubricantes.
- Cultivos forestales de madera, fibras y otros no comestibles.
- Cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos o animales y que han sido sometidos a procesos físicos o químicos.
- Áreas verdes en parques y campos deportivos en actividades de ornato y mantenimiento.
- Jardines en áreas no domiciliarias.

Para hacer usos de esta agua residual es necesario tener en cuenta los parámetros máximos admisibles y las distancias mínimas según la Resolución 1207 de 2014 para uso agrícola.

5.5.2. Uso Industrial

- Intercambio de calor en torres de enfriamiento y en calderas.
- Descarga de aparatos sanitarios.

Julieth Manzanares y Windy Rincón

- Limpieza mecánica de vías.
- Riesgo de vías para el control de material particulado.
- Sistemas de red contraincendios.

Para hacer usos de esta agua residual es necesario tener en cuenta los parámetros máximos admisibles y las distancias mínimas según la Resolución 1207 de 2014 para uso industrial.

6. DESCRIPCIÓN DEL SITIO

A continuación, se relacionan la localización, identificación y caracterización del sitio donde se tomaron las muestras de agua.

La mina de carbón de estudio se encuentra ubicada en el municipio de Paipa Departamento de Boyacá como se muestra en la Ilustración 1. El área de estudio se escogió teniendo en cuenta que Boyacá es el cuarto productor de carbón en Colombia y que el oficio en la zona es fuente de empleo de más del 60% de la población.



El proceso de minería en esta localización es subterráneo o mejor conocido como socavones como se evidencia en la Ilustración 13 y se caracteriza por operarse a pequeña y mediana escala.

Ilustración 5. Entrada al socavón



Fuente: Elaboración Propia

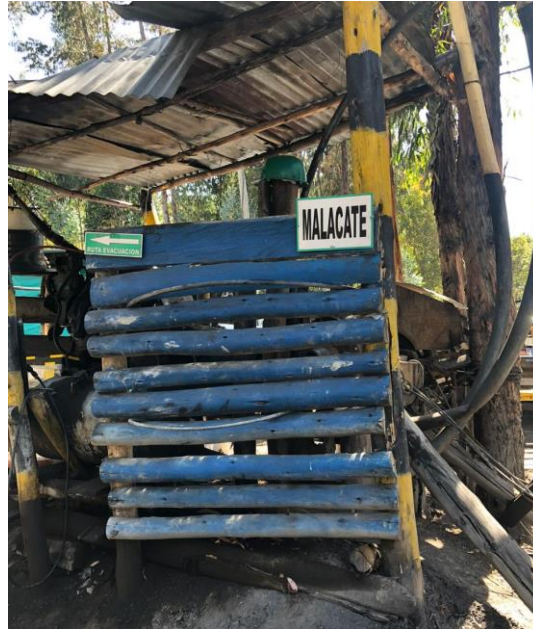
Posteriormente el carbón se extrae en vagonetas asistidas por un obrero, mientras este es arrastrado por un malacate como se evidencia en la Ilustración 6, Ilustración 7 e Ilustración 8.

Ilustración 6. Vagonetas de transporte



Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 7. Localización de malacate



Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 8. Llegada de las vagonetas a las tolvas de almacenamiento



Fuente: Elaboración Propia

El carbón extraído se acumula en tolvas de madera elevadas, desde donde se cargan las volquetas que transportarán el carbón hasta su destino como se evidencia en la Ilustración 9.

Ilustración 9. Tolvas de madera para almacenamiento



Fuente: Elaboración Propia

Es importante resaltar que el agua que se encuentra en sitio y la que se usa para el trabajo minero según estudios realizados, puede ser utilizada y almacenada. Razón por la que en la visita de campo se observan tanques de almacenamiento, en los cuales se almacena el agua extraída de los socavones por medio de bombas.

Parte del agua extraída circula de manera paralela a las vías de acceso a través de cunetas en concreto, donde son conducidas hasta estructuras de sedimentación primaria construidas en mampostería como se evidencia en la Ilustración 10.

Ilustración 10. Sedimentadores



Fuente: Elaboración Propia

Posterior a la sedimentación primaria el agua continúa por una canal hasta llegar a un tanque de sedimentación secundaria con pantallas deflectoras y vertederos transversales como se evidencia en la Ilustración 11.

Ilustración 11 Tanque de sedimentación primaria



Fuente: Elaboración Propia

El estado de esta estructura no garantiza su funcionalidad, pues está evidentemente colmatado y las tuberías de entrada y salida parecen estar obstruidas. El cuerpo de esta estructura es en mampostería como se evidencia en la Ilustración 12.

Ilustración 12 Tanque de sedimentación secundaria



Fuente: Elaboración Propia

Es claro recalcar que el trato que se le da a esta agua residual es mínimo, la entidad que está a cargo de los permisos de vertimiento de esta agua es Corpoboyaca, entidad que verifica que el proceso de sedimentación se realice y da el permiso de vertimiento al cuerpo de agua más cercano a la zona.

7. METODOLOGIA

La metodología que se usó será estocástica, se realizó la selección de información secundaria y primaria la cual nos llevó a reconocer con claridad los campos de acción e intervención de este trabajo.

Las fuentes primarias, corresponden a fuentes privadas de algunos municipios donde hay explotación minera por medio de socavones (Paipa), donde solicitara información acerca de: Licencias ambientales, permisos, corporaciones encargadas del buen manejo del recurso hídrico dentro de las minas y el tratamiento del agua. Así como toda la normativa vigente a nivel nacional e internacional de minería y extracción de carbón.

Posteriormente se organizó la información por orden de relevancia. Teniendo esta investigación se realizó el análisis de los posibles usos que se le puede dar al agua residual subterránea producto de la explotación minera por socavones, lo cual se elaboró una matriz de selección que generará una calificación cualitativa y cuantitativa según corresponda para cada reúso.

Para realizar la caracterización del agua se planeó un muestreo representativo en el lugar de estudio, para posteriormente realizar un análisis fisicoquímico del agua como se establece en la Resolución 0631 de 2015 y establecer tipos de tratamiento o tecnologías para tratar el agua.

Se clasificaron los tipos de tratamiento y se estableció el más adecuado con respecto a los resultados de la etapa anterior, se mencionan las tecnologías requeridas para llevar a cabo este tipo de tratamiento y posteriormente se establecerán los parámetros de calidad de agua para los usos posibles del agua.

7.1. IDENTIFICACIÓN DE LA NORMATIVIDAD APLICABLE

Para el desarrollo del presente trabajo de grado se utilizará la Resolución 1207 de 2014 y la resolución 631 de 2015, las cuales fueron descritas en el estado del arte, de las cuales se utilizaron algunos artículos.

7.2. TOMA DE MUESTRAS

En la Tabla 6 se especifica el nombre de cada parámetro tomado tanto físico, como químico, hidrocarburos, compuestos de fósforo, compuestos de nitrógeno, iones, metales y metaloides, para realizar la caracterización del agua, se especifica el lugar donde fue tomado el parámetro, in situ o en laboratorio.

Tabla 6 Lugar de toma de los parámetros

PARÁMETRO	LUGAR DE MEDICION
pH	In situ
Temperatura	In situ
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Laboratorio
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Laboratorio
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	Laboratorio
Sólidos Sedimentables (SSED)	In situ
Grasas y Aceites	Laboratorio
Fenoles	Laboratorio
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	Laboratorio
Hidrocarburos Totales (HTP)	Laboratorio
Hidrocarburos aromáticos Policíclicos (HAP)	Laboratorio
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	Laboratorio
Compuestos Orgánicos Halogenados Absorbibles (AOX)	Laboratorio
Ortofosfatos (P-PO43-)	Laboratorio
Fosfato Total (P)	Laboratorio
Nitratos (N-NO3-)	Laboratorio
Nitritos (N-NO2-)	Laboratorio
Nitrógeno Amoniacal (N-NH3)	Laboratorio
Nitrógeno Total (N)	Laboratorio
Cianuro Total (CN-)	Laboratorio
Cloruros (Cl-)	Laboratorio
Sulfatos (SO42-)	Laboratorio
Sulfatos (S2-)	Laboratorio
Arsénico (As)	Laboratorio
Cadmio (Cd)	Laboratorio
Cinc (Zn)	Laboratorio
Cobre (Cu)	Laboratorio
Cromo (Cr)	Laboratorio
Hierro (Fe)	Laboratorio
Mercurio (Hg)	Laboratorio
Níquel (Ni)	Laboratorio
Plata (Ag)	Laboratorio
Plomo (Pb)	Laboratorio
Acidez Total	Laboratorio
Alcalinidad Total	Laboratorio
Dureza Cálctica	Laboratorio

PARÁMETRO	LUGAR DE MEDICION
Dureza Total	Laboratorio
Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436nm, 525 nm y 620 nm)	Laboratorio

Fuente: Elaboración Propia

7.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE MUESTREO

La calidad del agua depende de factores naturales y acción humana, y se determina comparando las características físicas y químicas de una muestra de agua, con unas directrices legales de calidad del agua o estándares técnicos.

Por esta razón, se realizan análisis fisicoquímicos en campo y en el Laboratorio de calidad de las muestras tomadas en la mina para determinar los valores de las variables básicas que determinen su estado.

El laboratorio donde fueron llevadas las muestras de agua y por quien fueron tomados los parámetros in situ, aplica métodos y procedimientos de acuerdo a sus recursos técnicos y al Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Edición 23rd/2017, método aprobados a nivel nacional e internacional; los métodos establecidos en el Standard Methods son los mejores procedimientos disponibles para análisis de aguas.

Para realizar el proceso de muestro primero se recibió una nevera en Bogotá con las sustancias para conservar las muestras, posteriormente se realizó el viaje a Boyacá con un representante del laboratorio quien iba a conservar las muestras y a tomar las pruebas en sitio como se evidencia en la Ilustración 13.

Las pruebas tomadas in situ, corresponden a sólidos sedimentables como se evidencia en la Ilustración 14, temperatura como se evidencia en la Ilustración 15 y la medición de pH como se evidencia en la Ilustración 16, el resto de los parámetros nombrados en la Tabla 6, fueron medidos en el laboratorio.

Con relación a las pruebas realizadas en el laboratorio se utilizó el procedimiento descrito en el Standard Methods para la caracterización del agua residual.

Ilustración 13. Nevera con sustancias para conservar muestras



Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 14. Sólidos sedimentables



Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 15. Medición de temperatura



Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 16. Medición de pH



Fuente: Elaboración Propia

8. RESULTADOS

A continuación, se relacionan los resultados obtenidos de las pruebas in situ y las analizadas en el laboratorio, a su vez se comparó con los parámetros determinados para vertimiento en la Resolución 0631 de 2015 y los parámetros establecidos para reúso agrícola e industrial en la Resolución 1207 de 2014.

En la Tabla 7, se relacionan los resultados obtenidos del análisis de laboratorio y mediciones en sitio, donde se muestra la variable o parámetro a evaluar, método utilizado para la determinación de estos valores, unidades, limite cuantificable y resultado.

Tabla 7 Resultados de Análisis de laboratorio y mediciones en sitio.

RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO Y MEDICIONES IN SITU				
VARIABLE	METODO	UNID.	¹ LC	RESULT
pH	S.M. 4500 H –B Método electrométrico	Unidades	NA	8,2
Temperatura	S.M. 2550 - B Método Laboratorio y campo	°C	NA	21,7
Sólidos sedimentables	S.M. 2540 F Sólidos Sedimentables	ml /L	0,10	1,0
Demanda Química de Oxígeno (O ₂)	S.M. 5220 C. Reflujo cerrado – Titulación	mg /L	50	<50
Demanda Bioquímica de Oxígeno (O ₂)	SM 5210 B Incubación 5 Días. SM 4500 O.G Electrodo de Membrana	mg /L	20	<20
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	S.M. 2540 D Sólidos Suspendidos Totales Secados 103 °C – 105 °C	mg/L	10	14
Aceites y grasas (AyG)	S.M. 5520 B. - Extracción líquido líquido partición gravimétrica	mg/L	10	23
Fenoles (Fenol)	S.M. 5530 D. Método fotométrico directo	mg/L	0,10	0,19
Surfactantes - SAAM	S.M 5540 C Surfactantes Anionicos con SAAM	Mg/L	0.40	<0.40
Cloruros (Cl-)	S.M. 4500 – Cl B Método Argentometrico	mg/L	5	5
Nitratos (NNO ₃)	S.M. 4500-NO ₃ -B	mg /L	1	<1,00
Nitritos (NNO ₂)	S.M. 4500-NO ₂ -B – Método Colorimetría	mg/L	0,02	0,0406

RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO Y MEDICIONES IN SITU				
VARIABLE	METODO	UNID.	¹LC	RESULT
Nitrógeno Amoniacal (NNH ₃)	S.M. 4500 – NH ₃ B, C Destilación Método Ti trimétrico	mg/L	0,054	<0,054
Nitrógeno Orgánico Total – Kjeldahl (NTK)	S.M. 4500 – Norg C - S.M. 4500 NH ₃ B,C	mg/L	3,0	<3,0
Fosforo Total (P)	S.M. 4500-P B, D – Método Colorimetría	mg /L	0,070	<0,07
Ortofosfatos – Fosfatos (P-PO ₄)	S.M. 4500-P, D – Método Colorimetría	mg /L	0,21	<0,21
Tensoactivos (SAAM)	S.M. 5540 C Surfactantes Aniónicos como SAAM	mg/L	0,40	<0,40
Hidrocarburos totales (HT)	S.M. 5520 D, F	mg/L	5	10
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs)	EPA 3510 C / 8100 Extracción liquido –liquido, CG /FID	mg/L	0,002	<0,002
Compuestos Halogenados Adsorbibles (AOX)	ISO 9562 PSE Pirolisis micro coulombimetria	mg/L	0,070	<0,070
BTEX (Benceno, Tolueno, Estireno Xileno)	EPA 5021 A / EPA 8015 D Head Space –CG-FID	mg/L	0,1	<0,1
Cianuro (CN ⁻)	ASTM D 7511-12 Flujo segmentado	mg/L	0,01	<0,01
Sulfuros (S ²)	S.M. 4500 S2 C-F Método Yodometrico	mg/L	1,0	<1,0
Sulfatos (SO ⁴)	S.M. 4500 SO ₄ – E Método turbidimetrico	mg/L	10	29
Arsénico(As)	EPA 7062, S.M. 3114 C Digestión AA Generación de Hidruros	mg/L	0,0025	<0,0025
Cadmio (Cd)	S.M. 3030 E S.M 3111 B Digestión AA-Llama aire-acetileno	mg/L	0,01	<0,01
Cinc (Zn)	S.M. 3030 E S.M 3111 B Digestión AA-Llama aire-acetileno	mg/L	0,050	<0,050

RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO Y MEDICIONES IN SITU				
VARIABLE	METODO	UNID.	¹LC	RESULT
Cobre (Cu)	S.M. 3030 E S.M 3111 B Digestión AA- Llama aire acetileno	mg/L	0,1	<0,1
Cromo (Cr)	S.M.3030 E S.M 3111 B Digestión AA- Llama aire acetileno	mg/L	0,100	<0,100
Hierro(Fe)	S.M.3030 E S.M 3111 B Digestión AA- Llama aire acetileno	mg/L	0,200	<0,200
Mercurio (Hg)	S.M 3112 B Digestión aa- Vapor frio	mg/L	0,0010	<0,001
Níquel (Ni)	S.M.3030 E S.M 3111 B Digestión AA- Llama aire acetileno	mg/L	0,2	<0,2
Plata (Ag)	S.M.3030 E S.M 3111 B Digestión AA- Llama aire acetileno	mg/L	0,05	<0,05
Plomo (Pb)	S.M.3030 E S.M 3111 B Digestión AA- Llama aire acetileno	mg/L	0,1	<0,1
Acidez (CaCO ₃)	SM 2310-B Método titulometrico	mg/L	5	23
Alcalinidad (CaCO ₃)	SM 2320-B Método titulometrico	mg/L	20	236
Dureza Total (CaCO ₃)	SM. 2340 C Método Volumétrico con EDTA	mg/L	5	400
Dureza Cálrica (CaCO ₃)	SM. 3500 Ca – B Método Volumétrico con EDTA	mg/L	5	217
Color real 436 nm	ISO 7887:1994	m-1	NA	19
Color real 525 nm				10
Color real 620 nm				5

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados registrados en el sitio corresponden a la muestra analizada e identificada con ID 1013-19, realizados de acuerdo con los lineamientos de American Public Health Association y American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Edition 23.

8.1. RESOLUCIÓN 0631 DE 2015

En la Tabla 8 se muestra la comparación entre los resultados obtenidos en el laboratorio y la Resolución 0631 del 2015 – Artículo 10 con el fin de determinar que parámetros están por fuera de los valores límite determinados por la resolución para realizar vertimientos.

Tabla 8 Comparación de resultados con la Resolución 0631 del 2015

RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO Y MEDICIONES EN SITIO			COMPARACION RESOLUCION 0631 DEL 2015 –ART. 10
VARIABLE	UNIDADES	RESULTADOS	
pH	Unidades	8,2	6,00 -9,00
Temperatura	°C	21,7	NR
Sólidos sedimentables (SS)	ml /L	1,0	2,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	<50	150
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	<20	50
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	14	50
Aceites y grasas (AyG)	mg/L	23	10
Fenoles (Fenol)	mg/L	0,19	0,20
Surfactantes	mg/L	<0.40	Análisis y reporte
Cloruros(Cl)	mg/L	5	500,0
Nitratos (NNO ₃)	mg /L	<1,00	Análisis y reporte
Nitritos (-NNO ₂)	mg /L	0,0406	Análisis y reporte
Nitrógeno Amoniacal (NNH ₃)	mg/L	<0,054	Análisis y reporte
Nitrógeno Orgánico Total Kjeldahl (NTK)	mg/L	<3,0	Análisis y reporte
Fosforo Total (P)	mg/L	<0,07	Análisis y Reporte
Ortofosfatos - Fosfatos	mgP-PO ₄ /L	<0,21	Análisis y reporte
Tensoactivos (SAAM)	mg /L	<0,40	Análisis y reporte
Hidrocarburos totales (HT)	mg/L	10	10,00
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs)	mg/L	<0,002	Análisis y reporte
Compuestos Halogenados Adsorbibles (AOX ³)	mg/L	<0,070	Análisis y reporte
BTEX (Benceno, Tolueno, Estireno Xileno)	mg/L	<0,1	Análisis y reporte
Cianuro (CN)	mg/L	<0,01	1,00
Sulfuros (S ²)	mg/L	<1,0	1,00

Julieth Manzanares y Windy Rincón

RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO Y MEDICIONES EN SITIO			COMPARACION RESOLUCION 0631 DEL 2015 –ART. 10
VARIABLE	UNIDADES	RESULTADOS	
Sulfatos (SO ⁴)	mg/L	29	1200,00
Arsénico (As)	mg/L	<0,0025	0,10
Cadmio (Cd)	mg/L	<0,01	0,05
Cinc (Zn)	mg/L	<0,050	3,00
Cobre (Cu)	mg/L	<0,1	1,00
Cromo (Cr)	mg/L	<0,100	0,50
Hierro (Fe)	mg/L	<0,200	2,00
Mercurio (Hg)	mg/L	<0,0010	0,002
Níquel (Ni)	mg/L	<0,2	0,50
Plata (Ag)	mg/L	<0,05	Análisis y reporte
Plomo (Pb)	mg/L	<0,1	0,20
Acidez (CaCO ₃)	mg/L	23	Análisis y reporte
Alcalinidad (CaCO ₃)	mg/L	236	Análisis y reporte
Dureza Total (CaCO ₃)	mg/L	400	Análisis y reporte
Dureza Cálctica (CaCO ₃)	mg/L	217	Análisis y reporte
Color real 436 nm	m-1	19	Análisis y reporte
Color real 525 nm		10	Análisis y reporte
Color real 620 nm		5	Análisis y reporte

Fuente: Elaboración Propia

Como se evidencia en la Tabla 8 Comparación de resultados con la Resolución 0631 del 2015, ninguno de los parámetros está por encima del límite máximo permisible según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en la resolución N°. 0631 del 17 de marzo de 2015, por lo cual el vertimiento cumple con la normatividad vigente.

8.2. RESOLUCIÓN 1207 DE 2015 USO AGRÍCOLA

En la Tabla 9 se muestra la comparación entre los resultados obtenidos en el laboratorio y la Resolución 1207 del 2015, en la cual se especifican los valores permisibles para uso agrícola, con el fin de determinar que parámetros están por fuera de los valores límite determinados por la resolución.

Tabla 9 Comparación de resultados con la Resolución 1207 de 2014 Uso Agrícola

PARÁMETRO	UNIDADES	VALORES PERMISIBLES SEGÚN EL REÚSO AGRICOLA		RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO	CONCLUSIÓN
		REÚSO 1	REÚSO 2		
Físicos					
pH	Unidades de pH	6.00 a 9.00	6.00 a 9.00	8,2	Cumple
Conductividad	µS/cm	1500	1500	1725	No cumple
Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1.0*E(+5)	1.0*E(+4)	N/A	N/R
Enterococos Fecales	NMP/100 mL	1.0*E(2)	1.0*E(4)	N/A	N/R
Helmintos Parásitos Humanos	Huevos y larvas/L	1	1	N/A	N/R
Protozoos Parásitos Humanos	Quistes/L	1	1	N/A	N/R
Salmonelia sp	NMP/100 mL	1	1	N/A	N/R
Químicos					
Hidrocarburos Totales (HTP)	mg/L	1	1	10	No cumple
Fenoles	mg/L	1.5	0.002	0,19	Cumple
Biocidas					
2.4 D acido	mg/L	N/A	0.0001	N/A	N/R
Diuron	mg/L	N/A	0.0001	N/A	N/R
Glifosato	mg/L	N/A	0.0001	N/A	N/R
Mancozeb	mg/L	N/A	0.0001	N/A	N/R
Proponeb	mg/L	N/A	0.0001	N/A	N/R
Iones					
Cianuro Total (CN-)	mg/L	0.2	0.2	<0,01	Cumple
Cloruros (Cl-)	mg/L	300	N/A	5	Cumple
Fluoruros (F)	mg/L	1	1	N/A	NR
Sulfatos (SO42-)	mg/L	500	N/A	29	Cumple
Metales					
Aluminio (Al)	mg/L	5	5	N/A	N/R

PARÁMETRO	UNIDADES	VALORES PERMISIBLES SEGÚN EL REÚSO AGRICOLA		RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO	CONCLUSIÓN
		REÚSO 1	REÚSO 2		
Berilio (Be)	mg/L	0.1	0.1	N/A	N/R
Cadmio (Cd)	mg/L	0.01	0.01	<0,01	Cumple
Cinc (Zn)	mg/L	3	3	<0,050	Cumple
Cobalto (Co)	mg/L	0.05	0.05	N/A	N/R
Cobre (Cu)	mg/L	1	1	<0,1	Cumple
Cromo (Cr)	mg/L	0.1	0.1	<0,100	Cumple
Hierro (Fe)	mg/L	5	5	<0,200	Cumple
Mercurio (Hg)	mg/L	0.002	0.002	<0,001	Cumple
Litio (Li)	mg/L	2.5	2.5	N/A	N/R
Manganeso (Mn)	mg/L	0.2	0.2	N/A	N/R
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.07	0.07	N/A	N/R
Plomo (Pb)	mg/L	5	N/A	<0,1	N/R
Sodio (Na)	mg/L	200	N/A	N/A	N/R
Vanadio (V)	mg/L	0.1	0.1	N/A	N/R
Níquel (Ni)	mg/L	0.2	0.2	<0,2	Cumple
Metales					
Arsénico (As)	mg/L	0.1	0.1	<0,0025	Cumple
Antimonio (Sb)	mg/L	N/A	0.05	N/A	N/R
Boro (B)	mg/L	0.4	N/A	N/A	N/R
No metales					
Selenio (Se)	mg/L	0.02	0.02	N/A	N/R
No metales					
Cloro Total Residual (con mínimo 30 min de contacto) (CaCO ₃)	mg/L	Menor de 1	Menor de 1.0	N/A	N/R
Nitratos (N-NO ₃)	mg/L	5	5	<1,00	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

Según la Tabla 9 el uso numero 1 corresponde a:

- Cultivos de pasto y forraje para consumo animal.
- Cultivos no alimenticios para humanos o animales.
- Cultivos de fibras celulósicas y derivados.
- Cultivos para la obtención de biocombustibles.

Julieth Manzanares y Windy Rincón

- Cultivos forestales de madera fibras y otros no combustibles.

Según la Tabla 9 el uso numero 2 corresponde a:

- Cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos o animales y que han sido sometidos a procesos químicos o físicos.

8.3. RESOLUCIÓN 1207 DE 2014 REÚSO INDUSTRIAL

En la Tabla 10 se muestra la comparación entre los resultados obtenidos en el laboratorio y la Resolución 1207 del 2015, en la cual se especifican los valores permisibles para uso industrial, con el fin de determinar que parámetros están por fuera de los valores límite determinados por la resolución.

Tabla 10 Comparación de resultados con la Resolución 1207 de 2014 Uso Industrial

PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE				RESULTADOS DE ANALISIS	CONC
		REÚSO 1	REÚSO 2	REÚSO 3	REÚSO 4		
Fisicoquímicos							
pH	Unidades de pH	6,0-9,0	6,0-9,0	6,0-9,0	6,0-9,0	8.2	Cumple
Microbiológicos							
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	1,0*E(+3)	1,0*E(+4)	1,0*E(+3)	1,0*E(+1)	N/A	N/R
Helmintos Parásitos Humano	Huevos y Larvas/L	0.1	0.1	0.1	0.1	N/A	N/R
Protozoos Parásitos Humanos	Quistes/L	0	0.1	0.1	0.1	N/A	N/R
Salmonella sp	NMP/100ml	0.1	0.1	0.1	0.1	N/A	N/R
Químicos							
Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno (BTEX)	mg/L	0.001	N/A	0.001	N/A	< 0,1	Cumple
Esteres Ftalatos	mg/L	0.005	N/A	0.005	N/A	N/A	N/R
Fenoles	mg/L	0.002	N/A	0.002	N/A	0.19	No Cumple

PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE				RESULTADOS DE ANALISIS	CONC
		REÚSO 1	REÚSO 2	REÚSO 3	REÚSO 4		
	mg/L	0.01	N/A	0.01	N/A	< 0,002	Cumple
Biocidas							
2,4 D Acido	mg/L	0.0001	N/A	0.0001	N/A	N/A	N/R
Diuron	mg/L	0.0001	N/A	0.0001	N/A	N/A	N/R
Glifosato	mg/L	0.0001	N/A	0.0001	N/A	N/A	N/R
Mancozeb	mg/L	0.0001	N/A	0.0001	N/A	N/A	N/R
Propineb	mg/L	0.0001	N/A	0.0001	N/A	N/A	N/R
Iones							
Cianuro Libre	mg CN ⁻ /L	0.05	N/A	N/A	N/A	< 0,01	Cumple
Cloruros	mg Cl ⁻ /L	300	N/A	300	300	5	Cumple
Fluoruros	mg F ⁻ /L	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/R
Sulfatos	mg SO ₄	500	N/A	500	500	29	Cumple
Metales							
Aluminio	mgAl/L	5	N/A	5	N/A	N/A	N/R
Berilio	mgBe/L	0.1	N/A	0.1	N/A	N/A	N/R
Cadmio	mgCd/L	0.01	N/A	0.01	N/A	< 0,01	Cumple
Cinc	mgZn/L	3	N/A	3	N/A	< 0.050	Cumple
Cobalto	mgCo/L	0.05	N/A	0.05	N/A	N/A	N/R
Cobre	mgCu/L	1	N/A	1	N/A	< 0,1	Cumple
Cromo	mgCr/L	0.1	N/A	0.1	N/A	< 0,100	Cumple
Plomo	mgPb/L	5	N/A	5	N/A	< 0,1	Cumple
Hierro	mgFe/L	5	N/A	5	N/A	< 0,200	Cumple
Litio	mgLi/L	2.5	N/A	2.5	N/A	N/A	N/R
Manganeso	mgMn/L	0.2	N/A	0.2	N/A	N/A	N/R
Mercurio	mgHg/L	0.001	N/A	0.001	N/A	< 0,001	Cumple
Molibdeno	mgMo/L	0.07	N/A	0.07	N/A	N/A	N/R
Níquel	mgNi/L	0.2	N/A	0.2	N/A	< 0,2	Cumple
Vanadio	mgV/L	0.1	N/A	0.1	N/A	N/A	N/R
Metaloides							
Arsénico	mgAs/L	0.1	N/A	0.1	N/A	< 0,0025	Cumple
No Metales							
Selenio	mgSe/L	0.001	N/A	0.02	N/A	N/A	N/R
Otros							

PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE				RESULTADOS DE ANALISIS	CONC
		REÚSO 1	REÚSO 2	REÚSO 3	REÚSO 4		
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días (DBO ₅)	mgO ₂ /L	N/A	N/A	30	N/A	< 20	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

Según la Tabla 10 Comparación de resultados con la Resolución 1207 de 2014 Uso Industrial, el uso numero 1 corresponde a intercambio de calor en torres de enfriamiento y en calderas, el uso numero 2 corresponde a descarga de aparatos sanitarios, el uso 3 corresponde a limpieza mecánica de vías y riego de vías para el control de material particulado y el uso 4 corresponde a sistemas de redes contraincendios.

9. ANALISIS DE RESULTADOS

A continuación, se relacionan los análisis de resultados realizados teniendo en cuenta los parámetros y los valores límites determinados por la resolución 0631 de 2015 y 1207 de 2014 para cada reúso.

9.1. RESOLUCIÓN 0631 DE 2015

Según los resultados obtenidos en la Tabla 8, con relación a la comparación de los laboratorios y los valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales de aguas residuales a cuerpos de aguas superficiales; como lo indica la resolución 0631 de 2015; se identifica que todos los parámetros fisicoquímicos monitoreados están por debajo de los mismos, por lo tanto, el agua cumple con las características necesarias para realizar su vertimiento a fuentes de agua superficial.

Sin embargo, se obtuvieron los ensayos solicitados por Corpoboyaca a las minas de su jurisdicción como se muestra en la Tabla 11, se evidencia que los parámetros solicitados a los propietarios o administradores de las minas para realizar vertimientos a cuerpos de agua superficial no cumplen con los requeridos establecidos por la resolución. Se identifica discordancia entre las unidades de medida de conductividad de la norma y las proporcionadas por el laboratorio, por otro lado, los valores obtenidos en los diferentes puntos varían mucho entre si lo cual hace considerar si las muestras están siendo tomadas de la forma correcta.

Es importante resaltar que la corporación no está siendo estricta con la solicitud de los laboratorios, se están pidiendo menos parámetros de los requeridos la resolución solicita por lo tanto no se tiene certeza de la calidad del agua que está siendo vertida.

Tabla 11 Resultados obtenidos por los propietarios de la mina

PÁRAMETROS	METODO	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR LIMITE PERMISIBLE	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
Caudal	Volumétrico	L/s	-	0.44	0.48	0.43
pH	Potenciometrico	Unidades de pH	6.0-9.0	7.4	7.5	8.1
Conductividad	Electrodo Especifico	µS/cm	Análisis y reporte	3600	1725	2320
Color aparente	Espectrometrico	UPC	Análisis y reporte	62	35	105
Turbiedad	Nefelometrico	JTU	Análisis y reporte	50.2	54.4	50.5

Julieth Manzanares y Windy Rincón

PÁRAMETROS	METODO	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR LIMITE PERMISIBLE	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3
Alcalinidad Total	Volumétrico	mg/L	Análisis y reporte	24040	23470	31390
Dureza Total	Complexometrico	mg/L	Análisis y reporte	232005	192325	146720
Sulfatos	Espectrometrico	mg/L	1200	505	76	505
Hierro	Espectrometrico	mg/L	2	50	53.8	55.8

Fuente: Elaboración Propia

La Resolución 0631 relaciona un total de 38 parámetros a monitorear y la corporación en su función de control solicita 7 parámetros que coinciden con los de la resolución y 2 parámetros no requeridos por la norma (caudal y conductividad); por lo tanto, del 100% de los parámetros Corpoboyaca solicita un 18.42%, generando una gran incertidumbre en el estado del agua residual producto de la extracción de carbón por socavones.

Es importante resaltar que el único tratamiento que se le está realizando al agua residual es un proceso de filtración; el cual únicamente ayuda a disminuir los sedimentos que contiene el agua los cuales tampoco están siendo analizados ya que la prueba de sólidos sedimentables no se está realizando.

9.2. RESOLUCIÓN 1207 DE 2015 USO AGRÍCOLA

A continuación, se presentan los análisis de resultados para reúso agrícola, el cual según la resolución 1207 de dividirá en dos:

- **Reuso N° 1:** Cultivos de pastos y forrajes para consumo animal, cultivos no alimenticios para humanos o animales, cultivos de fibras celulósicas y derivados, cultivos para la obtención de biocombustibles (biodiesel y alcohol carburante) incluidos lubricantes, cultivos forestales de madera, fibras y otros no comestibles y cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos o animales y que han sido sometidos a procesos físicos o químicos.
- **Reuso N° 2:** Áreas verdes en parques y campos deportivos en actividades de ornato y mantenimiento y jardines en áreas no domiciliarias.

9.2.1. Reúso agrícola N° 1

En la Tabla 9 Comparación de resultados con la Resolución 1207 de 2014 Uso Agrícola, se identifican los parámetros requeridos para el Reúso N° 1. Se solicita el monitoreo de 34 parámetros que con relación a los solicitados para vertimiento se

comparten 17 por lo tanto se tiene el resultado del 50% de los parámetros solicitados.

Sin embargo, si se analizan los parámetros solicitados para el reúso N° 1 que no se comparten para vertimiento a fuentes de agua superficial se concluye:

- **Parámetro microbiológico:**

Con relación a los parámetros microbiológicos se tienen:

Coliformes termotolerantes: Formados principalmente por *Escherichia coli*, *enterobacter* y *Klebsiella*. Son encontrados exclusivamente en las heces de animales de sangre caliente, ya que, Paipa “posee sistema de alcantarillado combinado, con una cobertura de redes cercana al 98%” (Dirección técnica de gestión de acueducto y alcantarillado, 2015, pág. 23) no se presenta filtración de aguas residuales por pozos sépticos u otros y cerca de la mina no se encuentran residuos sanitarios se puede afirmar que el agua residual subterránea estudiada no contiene estas bacterias por lo tanto se puede obviar este parámetro, sin embargo, de no contarse con estas características en la mina o territorio estudiado será necesario realizar este análisis de laboratorio.

Enterococos fecales: Se considera un indicador de contaminación fecal dadas las condiciones del municipio nombradas anteriormente no sería necesario su evaluación, sin embargo, “su crecimiento óptimo es a 37° C, pueden crecer en un pH de 9.6” (Díaz Pérez, Rodríguez Martínez, & Zhurbenko, 2010), por lo tanto, las características del agua estudiada no coinciden con las necesarias para su proliferación.

Helmintos parásitos humanos: “Los helmintos son organismos grandes multicelulares que por lo general se observan a simple vista cuando son adultos. Al igual que los protozoos, los helmintos pueden ser de vida libre o de naturaleza parasitaria. En su forma adulta, los helmintos no pueden multiplicarse en los seres humanos “ (Centro para el control y la prevención de enfermedades, 2016), los parásitos helmintos no se proliferan en las aguas subterráneas producto de la extracción por socavones estudiada ya que no tiene las características necesarias para su proliferación.

Protozoos parásitos humanos: Los protozoos “son capaces de multiplicarse en los seres humanos, lo cual contribuye a su supervivencia y también permite que se desarrollen infecciones graves a partir de tan solo un organismo. La transmisión de protozoos que viven en el intestino humano a otro ser humano generalmente ocurre por la vía fecal-oral (por ejemplo, alimentos o agua contaminados o contacto de

persona a persona). Los protozoos que viven en la sangre o tejidos humanos se transmiten a otros seres humanos mediante un artrópodo vector (por ejemplo, por la picadura de un mosquito o jején)” (Centro para el control y la prevención de enfermedades, 2016) por lo tanto por su composición y origen no se encuentran en las aguas subterráneas producto de la extracción de carbón.

Slamonella sp: “Es un bacilo Gram negativo que se comporta como patógeno intracelular facultativo. Su hábitat en el aparato gastrointestinal de los animales y el hombre” (Asociación Mexicana de Microbiología, AC, 2005, pág. 24), por lo tanto, no se encuentra en las aguas subterráneas producto de la extracción de carbón.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que cada sitio de estudio tiene diferentes características por lo tanto estos parámetros deben ser estudiados de considerarse necesario según los componentes y particularidades del sitio.

- **Fluoruros**

“Los fluoruros son definidos propiamente como compuestos binarios o sales de flúor” (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2003, pág. 1) y se libera al aire cuando el carbón se calienta a altas temperaturas sin embargo este no es el caso de las minas de carbón, ya que, aunque se extrae no es sometido a temperaturas altas en el proceso de extracción. Las formas de estar expuesto a fluoruros son en áreas cercanas a plantas de energía que usan carbón como combustible o cerca de industrias relacionadas con fluoruros (fundiciones de aluminio, plantas de manufacturaran abonos de fosfato) o cerca de desechos peligrosos.

- **Metales pesados**

Con relación a los parámetros metales pesados se tienen:

Aluminio: “El aluminio es un componente natural de las aguas superficiales y subterráneas. La mayoría de las autoridades del agua alrededor del mundo utilizan sulfato de aluminio como agente floculante en el tratamiento de sus suministros de agua” (European Aluminium Association, 2008), el aluminio se encuentra de “forma natural en concentraciones de hasta 2mg/L” (Fondo Para El Logro de ODM, 2012, pág. 14), ya que son aguas subterráneas sin ningún tipo de tratamiento, es decir, naturales la máxima concentración es inferior a la límite máximo permisible por la Resolución 1207 por lo tanto no sería necesario evaluar dicho parámetro. Sin embargo, en caso de decidir reúsar el agua para este fin sería necesario realizar un análisis del sitio y de determinarse necesario evaluar dicho parámetro.

Berilio: El berilio entra al agua proveniente del desgaste de rocas y del suelo, descargas industriales y deposición en el agua de polvo de berilio liberado al aire por actividades industriales. “Una gran parte del berilio en el suelo se disuelve en agua y permanece adherida al suelo; por esa razón, es improbable que penetre el suelo y entre al agua subterránea” (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2016). Por esta razón y ya que en cercanías a la mina no se desarrollan actividades industriales diferentes de la extracción de carbón no se realiza el análisis de este parámetro. Sin embargo, si se evidencian actividades industriales que puedan producir berilio en cercanías a la extracción de carbón es necesario analizar dicho parámetro.

Cobalto: “El cobalto que se deposita en el suelo generalmente está adherido fuertemente a partículas en el suelo y, por lo tanto, no penetra mucho en el suelo. Sin embargo, la forma del cobalto y la naturaleza del suelo en un sitio determinarán la profundidad del suelo a la que penetrará el cobalto. Tanto en el suelo como en sedimento, la cantidad de cobalto que es móvil aumentará a medida que la acidez de estos medios aumenta” (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2004), según los análisis realizados en el agua subterránea del área de estudio tiene una característica alcalina por lo tanto la cantidad posible de cobalto sería mínima, ya que las aguas de estudio son subterráneas se tienen menos posibilidades de encontrar este metal en las mismas.

Litio: “El agua de mar contiene aproximadamente 0.17 ppm de litio. Los ríos generalmente contienen 3 ppb, mientras que el agua mineral contiene 0.05-1 m/L de litro” (Lenntech, 2004), ya que nuestra agua de estudio es producto de la extracción de carbón por socavones no se considera necesario realizar este laboratorio, también se tiene en cuenta que por ser agua subterránea no se presenta altos contenidos de litio debido a que este metal es poco probable se filtre al nivel freático.

Manganeso: “El ión manganeso se comporta en la mayoría de los casos muy parecido al ión hierro, además de poder ser bivalente y trivalente positivo puede también presentarse con valencia +4 formando el MnO_2 que es insoluble. Rara vez el agua contiene más de 1 ppm y requiere un pH ácido” (Fondo Para El Logro de ODM, 2012, pág. 18) , el pH del agua estudiada en este caso determina que es alcalina por esta razón no es posible encontrar el ion manganeso y no sería necesario evaluar dicho parámetro.

Molibdeno: Las concentraciones en el agua de consumo generalmente son menores que 0,01 mg/l, aunque se han descrito concentraciones de hasta 200 $\mu\text{g/l}$ en zonas cercanas a explotaciones mineras” (Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental, 2017), ya que el valor máximo permisible para reúso

agrícola es de 0.07 mg/L se cumple con el requerimiento de la norma por lo tanto no es necesario realizar el análisis de este parámetro.

Sodio: “En el agua subterránea su concentración depende de la disponibilidad del elemento Sodio en los minerales que se encuentren en el trayecto subterráneo que ha recorrido; pero además está relacionada con la solubilidad de esos minerales sódicos y de la existencia de otros elementos, de la temperatura del subsuelo y de la presión donde se encuentran esos minerales sódicos” (Ramírez Ortega & San José Arango, 2010, pág. 216), la concentración para uso agrícola es de 200 mg/L en este caso se recomienda determinar realizar una inspección visual de la disponibilidad de elementos sódicos en el recorrido, evidenciarse es necesario realizar la evaluación de dicho parámetro.

Vanadio: “La población general puede estar expuesta a vanadio en el aire que se inhala, particularmente en áreas donde un número alto de plantas de energía de petróleo usan aceites pesados para producir energía, las concentraciones de vanadio en el agua de superficie pueden variar desde aproximadamente 0.04 µg/L a 0.12 mg/L, dependiendo de la localidad” (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de enfermedades, 2016), el valor límite permisibles 0.1 mg/L por lo tanto no se considera necesario evaluar dicho parámetro ya que se deberían tener en cuenta las características nombradas anteriormente en su totalidad para tener concentraciones mayores a 0.1 mg/L lo cual no sucede en este caso.

- **Metales**

Con relación a los parámetros metales se tienen:

Boro: “El boro se encuentra ampliamente distribuido en agua de superficie y en agua subterránea; la concentración media en agua es de aproximadamente 0.1 mg/L, las concentraciones en agua subterránea pueden alcanzar hasta 300 mg/L en áreas con depósitos naturales ricos en boro y en muestras de agua potable se han encontrado concentraciones de hasta 0.4 mg/L” (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2016). Ya que Paipa no es un área de depósitos naturales ricos en boro se considera que la concentración es aproximadamente 0.1 mg/L por esta razón y cumpliendo con ser menor de 0.4 mg/L no se considera necesario evaluar este parámetro para este estudio.

- **No metal**

Con relación a los parámetros no metales se tienen:

Selenio: “El selenio ocurre naturalmente en el ambiente. El desgaste de las rocas y el suelo puede producir niveles bajos de selenio en el agua, los que pueden ser incorporados por las plantas. El selenio generalmente entra al aire al quemar carbón o petróleo. El selenio que puede estar presente en combustibles fósiles se combina con oxígeno cuando el combustible se quema. Las partículas de selenio en el aire, por ejemplo, en ceniza, pueden depositarse en el suelo o en agua superficial” (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2003), ya que el agua no tiene estas condiciones, ni se presentan las actividades anteriormente descritas en cercanías a la mina de carbón se puede omitir este parámetro.

Cloro total residual: El cloro residual es utilizado para desinfectar el agua de consumo humano, por lo tanto, es utilizada en plantas de tratamiento de agua potable (PTAP), redes de distribución, redes matrices, tanques de almacenamiento. Ya que el agua residual a tratar no ha sido producto de uso doméstico ni de consumo humano se omite el análisis de dicho parámetro.

Luego de realizar en análisis de cada uno de estos parámetros, para el caso de estudio del presente trabajo se tiene en cuenta un terreno base o terreno en condiciones normales, por lo tanto, no se consideró necesario evaluar los parámetros anteriormente descritos. Sin embargo, se hace énfasis en conocer las condiciones particulares del suelo y de ser necesario realizar los parámetros requeridos según dichas condiciones; de esta forma determinar acertadamente si se le puede reusar en cultivos de pastos y forrajes para consumo animal, cultivos no alimenticios para humanos o animales, cultivos de fibras celulósicas y derivados, cultivos para la obtención de biocombustibles (biodiesel y alcohol carburante) incluidos lubricantes, cultivos forestales de madera, fibras y otros no comestibles y cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos o animales y que han sido sometidos a procesos físicos o químicos.

Con relación a los parámetros evaluados, la mayoría están por debajo del valor máximo permisible cumpliendo con los rangos establecidos por la Resolución 1207 de 2014, a excepción de conductividad e hidrocarburos totales. Ya que, el valor máximo permisible de la conductividad corresponde a 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el resultado de la prueba de laboratorio para el agua de estudio arrojó un valor de 1725 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y para hidrocarburos totales se tiene un valor máximo permisible de 1 mg/L y el resultado obtenido del agua de estudio es de 10 mg/L por lo tanto es necesario realizar un tratamiento adicional a esta agua si se requiere para dicho fin el cual se relaciona a continuación.

Con relación a los parámetros evaluados, la mayoría están por debajo del valor máximo permisible cumpliendo con los rangos establecidos por la Resolución 1207 de 2014, a excepción de conductividad e hidrocarburos totales. Ya que, el valor máximo permisible de la conductividad corresponde a 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el resultado de

La prueba de laboratorio para el agua de estudio arrojó un valor de 1725 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y para hidrocarburos totales se tiene un valor máximo permisible de 1 mg/L y el resultado obtenido del agua de estudio es de 10 mg/L por lo tanto es necesario realizar un tratamiento adicional a esta agua si se requiere para dicho fin el cual se relaciona a continuación.

- **Conductividad**

La conductividad se usa como para medir los sólidos disueltos totales, “ya que la conductividad eléctrica refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua” (Smart Fertilizer Management, 2016).

Ecuación 1 Determinación de sólidos disueltos totales por medio de conductividad

$$\text{TDS (ppm)} = 0.64 \times \text{EC } (\mu\text{S}/\text{cm}) = 640 \times \text{EC (dS/m)}$$

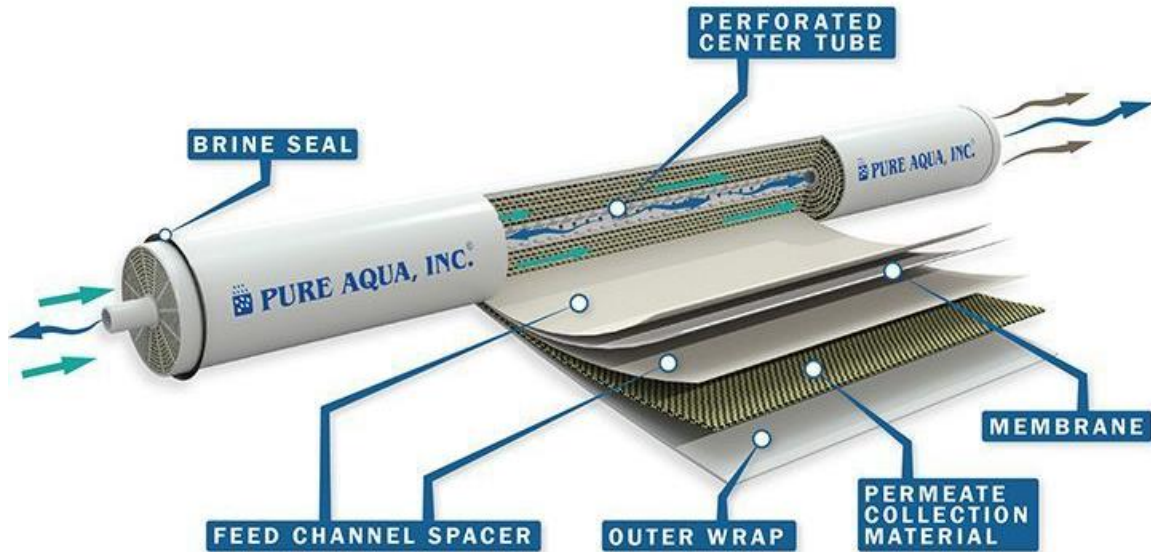
Fuente: (Smart Fertilizer Management, 2016).

Teniendo una cantidad de sólidos disueltos de 1104 ppm en el agua estudiada y siendo necesario obtener para obtener un valor 960 ppm para reusar el agua.

Hay algunas opciones de tratamiento para reducir el TDS, como el sistema de ósmosis inversa, filtros y suavizantes. “La ósmosis inversa se considera una de las mejores soluciones disponibles para reducir el total de sólidos disueltos y cumplir con muchos requisitos de calidad del agua tratada. La ósmosis inversa elimina los iones disueltos (sales), donde el rechazo es del 99% + dependiendo de la membrana y de los iones específicos. La guía de la OMS para el agua potable es de 500 ppm” (Pure Aqua, INC. , s.f.), sin embargo, para el caso del Reuso agrícola N° 2 se permite una concentración de 960 ppm siendo este el tratamiento adecuado para la eliminación de los sólidos disueltos totales.

“El proceso de ósmosis inversa (RO) funciona empujando el agua a través de una membrana semipermeable bajo presión para eliminar los contaminantes. Algunos contaminantes tratados por ósmosis inversa incluyen cloruro, coloides, fluoruro, compuestos orgánicos, partículas, pirógenos y sodio” (Pure Aqua, INC. , s.f.) Lo cual se puede evidenciar en la Ilustración 17. Osmosis inversa, filtros y suavizantes para la eliminación de sólidos disueltos totales.

Ilustración 17. Osmosis inversa, filtros y suavizantes para la eliminación de sólidos disueltos totales



Fuente: (Pure Aqua, INC. , s.f.)

Otros posibles métodos para disminuir la cantidad de sólidos disueltos en el agua son: “Sedimentación, Filtración, Ultrafiltración, Alúmina activada y Resinas intercambiadoras de iones” (Oxidine Water Technology, s.f.).

- **Hidrocarburos totales**

Estas sustancias no son fácilmente eliminadas, al ser “estables” en solución acuosa, debido a que su agregación o sedimentación es muy lenta. Para lograr tener un valor de 1mg/l de hidrocarburos totales en el agua subterránea producto de la extracción minera por socavones es necesario el uso de procesos como la coagulación y floculación química. “La coagulación es un proceso en que se desestabilizan las partículas coloidales para formar agregados entre ellas. La floculación es la aglomeración de estas partículas en flóculos que tienden a depositarse en el fondo. De esta forma se potencia la decantación para conseguir separar estas partículas o agregados del agua y, así, descontaminarla. Se considera que la desestabilización puede ser producida por la compresión de la doble capa eléctrica, causando un aumento de la fuerza iónica y la neutralización de las cargas superficiales debido a la adsorción de iones” (Guart, Serra Jové, & Taplas Parcerisas, 2014).

Luego de realizar alguno de estos procesos de tratamiento, los cuales se determinaran exactamente cuándo se tengan los resultados de cada mina el agua se podrá reusar para cultivos de pastos y forrajes para consumo animal, cultivos no alimenticios para humanos o animales, cultivos de fibras celulósicas y derivados,

cultivos para la obtención de biocombustibles (biodiesel y alcohol carburante) incluidos lubricantes, cultivos forestales de madera, fibras y otros no comestibles y cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos o animales y que han sido sometidos a procesos físicos o químicos, garantizando que tenga las características necesarias y óptimas para no afectar los lugares donde se reúse.

9.2.2. Reúso agrícola N° 2

En la Tabla 9 Comparación de resultados con la Resolución 1207 de 2014 Uso Agrícola, se identifican los parámetros requeridos para el Reúso N° 2. Se solicita el monitoreo de 35 parámetros que con relación a los solicitados para vertimiento se comparten 17 por lo tanto se tiene el resultado del 48.6%.

Sin embargo, si se analizan los parámetros solicitados para el reúso N° 2 se concluye:

- **Biocidas**

Los biocidas que indica la resolución 1207 de 2014 que se deben evaluar para poder reusar el agua en las actividades agrícolas descritas anteriormente son: 2,4 D Acido, Diuron, Lifosato, Mancozeb y Propineb. No se considera necesaria la evaluación de estos parámetros ya que todos ellos son producto del uso de: desinfectantes, conservantes, plaguicidas y en cercanías ni en la mina donde se está evaluando la calidad de agua no se tiene presencia de los mismos, ya que el agua residual es agua subterránea no es doméstica, agrícola, ni de industrias alimenticias.

- **Metales**

Con relación a los parámetros metales se tienen:

Antimonio: El antimonio se encuentra en cantidades traza en agua naturales (normalmente inferiores a 0.01ml/L)” (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2016, pág. 14), ya que el valor máximo permisible para reúso agrícola corresponde 0.05 ml/L no se consideró necesario realizar la evaluación de dicho parámetro.

Adicionalmente a los parámetros descritos en el Reúso N° 1 agrícola, que no fue necesario evaluar, para el Uso N° 2 se estudiaron los parámetros biocidas: 2,4 D Acido, Diuron, Lifosato, Mancozeb, Propineb, y metales: antimonio los cuales finalmente se establece no es necesario evaluar con las condiciones anteriormente descritas, sin embargo si en cercanías a la mina de carbón se encuentran industrias de detergentes, desinfectantes, conservantes, plaguicida, industrias agrícolas o

donde se considere se usan biocidas será necesario realizar la evaluación de dichos parámetros.

Como se indicó en el reúso N° 1 es necesario realizar un tratamiento extra para disminuir la concentración sólidos disueltos totales y de hidrocarburos totales la cual fue descrita anteriormente. Luego de realizar alguno de estos procesos de tratamiento, los cuales se determinarán exactamente cuándo se tengan los resultados de cada mina el agua se podrá reusar para áreas verdes en parques y campos deportivos en actividades de ornato y mantenimiento y jardines en áreas no domiciliarias. garantizando que tenga las características necesarias y óptimas para no afectar los lugares donde se reúse.

9.3. RESOLUCIÓN 1207 DE 2014 USO INDUSTRIAL

A continuación, se presentan los análisis de resultados para reúso industrial, el cual según la resolución 1207 de dividirá en cuatro:

- **Reuso N° 1:** Intercambio de calor en las torres de enfriamiento y en calderas.
- **Reuso N° 2:** Descarga de aparatos sanitarios.
- **Reuso N° 3:** Limpieza mecánica de vías y riesgo de vías para el control de material particulado.
- **Reuso N° 4:** Sistemas de red contra incendios.

9.3.1. Reúso industrial N° 1

Con relación al reúso industrial N° 1 para Intercambio de calor en las torres de enfriamiento y en calderas, se estudió adicionalmente los Esteres Ftalatos y glifosatos, ya que los otros parámetros fueron estudiados en los reusos agrícolas.

- **Químicos**

Con relación a los parámetros químicos se tiene:

Esteres Ftalatos: Son un grupo de compuestos químicos empleados principalmente como plastificadores (Sustancias añadidas a los plásticos para incrementar su flexibilidad). Cuando estos se añaden a los plásticos, los Ftalatos permiten a las moléculas largas de polivinilo deslizarse unas sobre otras. Los Ftalatos presentan una baja solubilidad en agua y alta en aceites, así como una baja volatilidad. Los Ftalatos se usan también en los esmaltes de uñas, adhesivos, masillas, pigmentos de pintura, juguetes de niños y en la mayoría de los juguetes sexuales. La resolución 631 de 2015 no contempla el análisis de este parámetro pues según su composición y uso cerca al área de estudio, que en nuestro caso es una mina de carbón, es improbable. Cerca de la mina no se encuentra ningún lugar

de disposición de basuras o algo que nos pueda dar un indicio de poder encontrar este tipo de sustancia.

- **Biocidas**

Con relación a los parámetros biocidas se tiene:

Glifosato: El Glifosato es un herbicida no selectivo, con una actividad de amplio espectro, clasificado como aminofosfonato. Generalmente no se aplica en su forma pura, sino en compuestos comerciales como el Roundap o el Syngenta, que se denominan herbicidas a base de glifosato. La similitud del glifosato con el fosfoenolpiruvato le permite asociarse al 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato sintasa (EPSP), inhibiendo su actividad y bloqueando su integración en el cloroplasto, es decir, que interfiere en la síntesis de los aminoácidos fenilalanina, tirosina y triptófano, y a su vez, detiene el crecimiento vegetal pocas horas después de la aplicación, por lo que se usa en el control de la producción agrícola o erradicación de cultivos ilícitos. El contexto de aplicación del glifosato difícilmente se puede asociar con el agua objeto de estudio, pues las condiciones de profundidad y las condiciones de uso del suelo de la zona de estudio no están relacionadas a las actividades agrícolas. Como no se puede comprobar su aplicación debido a la ausencia de agroindustria, y como su presencia en agua subterránea está limitada a la infiltración desde el suelo superficial, su determinación como parámetro de calidad del agua no es prioritaria, pues sus resultados no serán significativos.

Se debe tener en cuenta para el reúso N° 1 industrial las características específicas del área de estudio, en este caso no es necesario evaluar los parámetros descritos anteriormente, sin embargo, si en cercanías a la mina de carbón se encuentran industrias de detergentes, desinfectantes, conservantes, plaguicida, industrias agrícolas o donde se considere se usan biocidas, o donde se puedan encontrar esteres Ftalatos, será necesario realizar la evaluación de dichos parámetros.

Sin embargo, cómo se evidencia en la Tabla 10 Comparación de resultados con la Resolución 1207 de 2014 Uso Industrial, el parámetro Fenoles analizado en el agua extraída de la mina tiene un valor límite máximo permisible para este uso de 0.002 mg/L y la concentración encontrada en el agua de estudio fue de 0.19 mg/L.

Los fenoles son compuestos aromáticos comunes en aguas residuales de la industria del petróleo, del carbón, plantas químicas, fábricas de explosivos, de resinas y otras, EL ensayo de fenoles incluye, además del fenol (C_6H_5OH), compuestos como los polifenoles, clorofenoles, fenixiácidos y cresoles. Los fenoles causan problemas de sabores en aguas de consumo tratadas con cloro, pues en contacto con el cloro se forman compuestos fenilclorados, por lo que la presencia de este compuesto dificulta la posibilidad de desinfección del agua, por lo tanto,

para reúsar el agua para este fin es necesario realizar un tratamiento adicional el cual se describe a continuación:

- **Remoción de fenoles mediante tratamiento acuático**

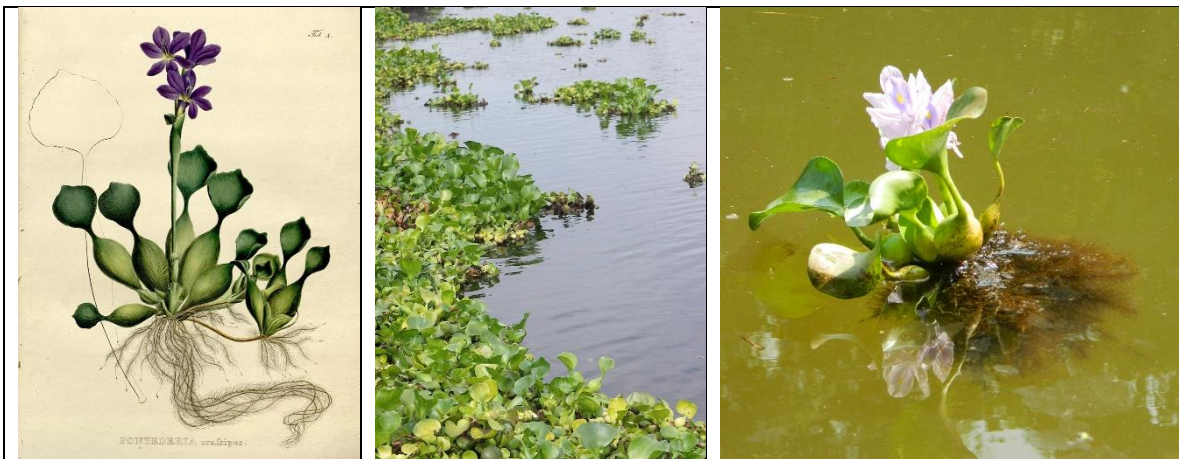
Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)

El Jacinto de agua, también llamado Taruya, Lirio de agua, batata, Oreja de mula, etc., es una planta acuática, perenne, vascular, flotante, de clima cálido y frío. Su habilidad de crecimiento y adaptación le permite sobrevivir y extenderse en una gran variedad de ambientes. Su uso en el tratamiento de aguas residuales es frecuente, pues tiene la capacidad de duplicar su masa vegetal en diez días, y durante la estación normal de ocho meses de crecimiento una sola planta es capaz de producir 70.000 plantas hijas. **(James, 1976)**

Gracias a su extenso sistema de raíces tiene excelente poder de filtración y capacidad de absorber impurezas y contaminantes como metales pesados y fenoles. EL Jacinto de agua es resistente a los insectos y las enfermedades, generalmente crece en aguas con temperaturas superiores a los 10°C. En aguas residuales, con cosechamiento del Jacinto, las raíces pueden extenderse 10cm por debajo del rizoma central. Si no hay cosechamiento, las raíces crecen y pueden penetrar el suelo del fondo en humedales sin recubrimiento.

La flor del Jacinto puede producir semillas, pero el método principal de reproducción se hace mediante los rizomas subacuáticos. El 95% de la masa total vegetal es agua, factor de especial interés en cuanto a su disposición final.

*Ilustración 18. Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)*



Fuente: Elaboración propia

La remoción de fenoles mediante *Eichhornia crassipes* se puede realizar en un canal con una profundidad que puede variar entre 0.40 y 1.50 metros, el cual es

alimentado con aguas residuales provenientes de un tratamiento primario (cribado y desarenador). En la superficie de la lámina de agua se desarrolla el material vegetal y el agua fluye a través de las raíces de este, que forman una película de microorganismos que descomponen y remueven los fenoles.

El diseño de este tratamiento debe realizarse como un canal de flujo libre ordinario, que se denominará humedal artificial. El régimen laminar y un estado de flujo subcrítico garantizar mayor contacto del fluido con las raíces de las plantas, por lo que se deben garantizar velocidades de flujo uniformes y menores a 0.3 m/s, que es el parámetro de diseño en desarenadores. Estas condiciones se controlan mediante la pendiente de fondo del canal y el uso de pantallas deflectoras de flujo a la entrada y la salida del canal.

La profundidad de flujo en el canal dependerá de la frecuencia con la que se pretenda cosechar el Jacinto, pues se debe procurar que las raíces tengan el mayor contacto posible con el agua residual. Cosechar la planta frecuentemente permite tener la planta en fase activa, haciendo la remoción más eficaz, por lo que se deben preferir bajas profundidades de flujo (entre 10 y 25 cm) con el uso de canales más largos para aumentar el tiempo de contacto. El canal debe estar provisto en el fondo con un sistema de lavado de lodos para evitar la colmatación del canal, este sistema puede consistir simplemente de una pendiente transversal con una tubería de desagüe.

Ilustración 19. Tratamiento de aguas residuales con Jacinto de Agua



Fuente: Universidad Católica de Maule, Chile.

- **Remoción de fenoles mediante oxidación con ozono y peróxido de hidrógeno**

De acuerdo con las investigaciones realizadas por (Muñoz B & Paredes B, 2014), es posible reducir la concentración de fenol en el agua residual mediante la aplicación de ozono y peróxido de hidrógeno. Para el tratamiento con Ozono, se realizaron pruebas de tratamiento a cuatro valores de pH: 5.50, 7.00, 8.00 y 8.50 (estos valores se fijaron con el uso de soluciones de ácido clorhídrico 1N e hidróxido de sodio 1N). Se tomaron cuatro muestras en cuatro tiempos distintos después de iniciado el tratamiento (0.25, 0.60, 1.00 y 1.50 minutos). Por otro lado, para el tratamiento con la combinación de Ozono y peróxido de hidrógeno, se llevó a cabo la prueba a un pH de 8.5, y se utilizaron tres relaciones molares (peróxido/ozono): 0.11, 0.22 y 0.49 M. Adicionalmente se realizaron pruebas a dos valores de pH: 5.0 y 7.0 para la relación 0.11 M, y en todas las experimentaciones las muestras fueron tomadas en tres tiempos diferentes: 0.25, 0.60 y 1.00 minutos luego de iniciado el tratamiento.

Es de interés mencionar que las aguas tratadas en este estudio poseían una concentración inicial de Fenol en ppm de $3.99 (\pm 0.08)$, y la muestra contenía una concentración de 32.67 ± 3.51 mg/L de DQO. Los resultados del estudio presentado demuestran que el fenol puede ser removido en tan solo minuto y medio después de la aplicación del ozono, y que su velocidad de remoción mejora con el aumento de pH, tal como se enuncia en la Tabla 12 Resultados de de la concentración de fenoles por el tratamiento con ozono de una muestra de agua de una refinería en Ecuador

Tabla 12 Resultados de (Muñoz B & Paredes B, 2014) de la concentración de fenoles por el tratamiento con ozono de una muestra de agua de una refinería en Ecuador

pH inicial	5.5		7		8		8.5	
Tiempo (min)	Fenol (ppm)	Rem. de Fenol (%)	Fenol (ppm)	Rem. de Fenol (%)	Fenol (ppm)	Rem. de Fenol (%)	Fenol (ppm)	Remo. de Fenol (%)
0	4.00±0.09	0	4.02±0.06	0	3.96±0.06	0	3.98±0.06	0
0.25	3.53±0.06	11.88	3.34±0.04	16.84	2.96±0.04	25.19	2.27±0.04	42.93
0.6	0.89±0.04	77.71	0.62±0.01	84.67	0.19±0.01	95.14	0.03±0.01	99.16
1	0.03±0.00	99.25	0.03±0.00	99.32	0.04±0.00	99.12	0.02±0.00	99.56
1.5	0.02±0.00	99.63	0.01±0.00	99.96	0.02±0.00	99.62	0.01±0.00	99.77
pH final	4.91		6.04		6.98		7.2	

Fuente: (Muñoz B & Paredes B, 2014)

Estos resultados muestran el efecto de los radicales OH en la reacción con fenol, puesto que se conoce que los valores de pH ácidos, el ozono reacciona de forma

molecular y a valores de pH alcalinos reacciona a través de la formación de radicales OH. Por otro lado, el pH se acidifica durante el tratamiento con ozono, debido a la formación de ácidos orgánicos como el mucónico, oxálico o fórmico, medidos en otros estudios.

En el caso del tratamiento de efluentes con una combinación de ozono y peróxido de hidrógeno a diferentes relaciones $[H_2O_2]/[O_3]$ a pH = 8.5, fue observado un comportamiento similar en la remoción de fenoles, al obtenido en el tratamiento solamente con ozono. Las mejores condiciones fueron encontradas para el experimento, en el cual no se añadió H_2O_2 .

Cuando se utilizó una relación molar de 0.5, que corresponde al valor recomendado en la bibliografía, no mejoró la remoción de fenol respecto al tratamiento que utiliza solamente O_3 . La alcalinidad del agua podría haber influenciado en el efecto de la adición de peróxido, puesto que los iones bicarbonatos y carbonatos, que pueden encontrarse en este tipo de aguas, atrapan a los radicales OH y no permiten su reacción con los otros sustratos presentes en el efluente.

- **Remoción de fenoles mediante un reactor anaerobio de flujo a pistón**

El reactor anaerobio de flujo a pistón puede considerarse de especial importancia, por tratarse de un método de remoción de fenoles desarrollado en la Universidad de los Andes en Bogotá, D.C. Los estudios reportan que esta tecnología ha demostrado resultados muy satisfactorios operando a temperaturas menores de $20^\circ C$, como, por ejemplo, tiempos de retención hidráulica reducidos, altas eficiencias de remoción de demanda bioquímica de oxígeno, etc. (Medina, 1995).

Este sistema es una modificación de los filtros anaerobios, ya que su principio de funcionamiento y remoción de los contaminantes orgánicos es el mismo, pero lo que caracteriza al reactor en mención, además de poseer generalmente su compartimiento final de sedimentación, es que el régimen de flujo es de tipo pistón. En el cual el fluido se desplaza y sale del tanque en la misma secuencia en la cual entra; las partículas del fluido retienen su identidad y permanecen en el reactor en un período igual al tiempo teórico de retención hidráulica.

Para comprender el principio de funcionamiento del reactor se visualiza el concepto de flujo en pistón como un flujo en el cual el fluido, al llegar al reactor, es encerrado en paquetes herméticos que luego viajan a lo largo del tanque, sin transferir ninguna sustancia de un paquete a otro, aunque exista mezcla completa dentro de cada paquete, se puede considerar que cada paquete es un mini reactor de cochada en mezcla completa (Romero Rojas, 2002). Dentro de la composición del reactor, es importante las características del medio de soporte, ya que allí se desarrolla la película biológica que realiza la digestión de la materia orgánica.

Los microorganismos formadores de biopelícula poseen ventajas, tales como:

- Mayor persistencia dentro del sistema
- Mayor resistencia a la toxicidad y cambios de las condiciones ambientales
- Mayores concentraciones de microorganismos en el reactor.

El uso de medios de soporte en los reactores biológicos permite la retención de sólidos al interior de este a través de la biopelícula formada en su superficie y principalmente en los intersticios del lecho. El volumen ocupado por este material corresponde al volumen efectivo del reactor. Los medios de soporte de uso común se pueden clasificar en dos grupos principales: medios minerales o convencionales y los medios sintéticos, contruidos generalmente por materiales plásticos.

Para poder realizar el reúso del agua subterránea residual producto de la extracción minera por socavones es necesario realizar uno de los tratamientos anteriormente descritos con el fin de disminuir la concentración de fenoles y cumplir con los valores límite máximos determinados en la Resolución 1207 de 2014.

9.3.2. Reúso industrial N° 2

Con relación al reúso industrial N° 2 para descarga de aparatos sanitarios, se realizó el análisis anteriormente descrito para los parámetros requeridos para este reúso y se estableció la no necesidad de determinar los siguiente:

- Coliformes Termo tolerantes
- Helmintos Parásitos Humano
- Protozoos Parásitos Humanos
- Salmonella sp

Debido a las condiciones y características expuestas en el reúso agrícola, se debe tener en cuenta que el agua subterránea producto de la extracción de carbón por socavones no tiene riesgo microbiológico por no contar con influencia de aguas residuales domesticas e industriales cercanas, no se cuenta con residuos de heces fecales ya que el municipio cuenta con un sistema de alcantarillado combinado en un 98% de su territorio, garantizando de esta forma la no necesidad de evaluar dichos parámetros.

Por lo anterior el agua residual subterránea producto de la extracción minera por socavones es apta para reúso en descarga de aparatos sanitarios sin necesidad de realizar ningún tratamiento extra a la misma.

9.3.3. Reúso industrial N° 3

Con relación al reúso industrial N° 3 para limpieza mecánica de vías y riesgo de vías para el control de material particulado, por las razones descritas en el reúso industrial N° 2 y en reúso agrícola N°1 y N°2, se determinó que no es necesaria la evaluación de los parámetros microbiológicos

Sin embargo, cómo se evidencia en la Tabla 10 Comparación de resultados con la Resolución 1207 de 2014 Uso Industrial, el parámetro Fenoles analizado en el agua extraída de la mina tiene un valor límite máximo permisible para este uso de 0.002 mg/L y la concentración encontrada en al agua de estudio fue de 0.19 mg/L por lo tanto para reúsar el agua para este fin es necesario realizar uno de los tratamientos descritos en le Reúso N° 1 Industrial, con el fin de disminuir la concentración de fenoles y cumplir con los valores límite máximos determinados en la Resolución 1207 de 2014.

9.3.4. Reúso industrial N° 4

Con relación al reúso industrial N° 4 para Sistemas de red contraincendios. por las razones descritas en el reuso industrial N°1, N° 2 y N° 3 y en reuso agrícola N°1 y N°2, se determinó que no es necesaria la evaluación de los parámetros microbiológicos, sin embargo, de determinarse la posibilidad de contener residuos microbiológicos será necesaria su evaluación.

Con el análisis realizado al restante de los parámetros se determinó que el agua residual subterránea producto de la extracción minera por socavones es apta para reúso en sistemas de red contra incendios.

10. CONCLUSIONES

- Se realizó la visita de campo a la mina de carbón en el municipio de Paipa y se evidencio que luego de la extracción del agua subterránea el único tratamiento que se le da a la misma es un proceso de sedimentación, sin embargo, con este proceso se está dando cumplimiento con las características que debe tener el agua para vertimiento a fuentes de agua superficial establecidos por la Resolución 0631 de 2015.
- Según los análisis realizados al agua subterránea producto de la extracción minera por socavones se determinó que cumplía con los límites máximos permisibles establecidos por la Resolución 0631 de 2015 para vertimientos a cuerpos de agua superficiales y se establecieron como posibles reúsos según la resolución 1207 de 2014 los siguiente:
 - Cultivos de pastos y forrajes para consumo animal.
 - Cultivos no alimenticios para humanos o animales.
 - Cultivos de fibras celulósicas y derivados.
 - Cultivos para la obtención de biocombustibles (biodiesel y alcohol carburante) incluidos lubricantes.
 - Cultivos forestales de madera, fibras y otros no comestibles.
 - Cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos o animales y que han sido sometidos a procesos físicos o químicos.
 - Áreas verdes en parques y campos deportivos en actividades de ornato y mantenimiento.
 - Jardines en áreas no domiciliarias.
- Se realizó una caracterización química y física del agua subterránea extraída de la mina de carbón, de los parámetros analizados 3 fueron tomados in situ (temperatura, pH y sólidos sedimentables) y el restante fue analizado en el laboratorio.
- Cuando se realizó el análisis de los parámetros a evaluar se determinó que no era necesario evaluar lo siguientes parámetros:
 - Microbiológicos
 - Fluoruros
 - Aluminio
 - Berilio
 - Cobalto
 - Litio
 - Manganeso

- Molibdeno
- Sodio
- Vanadio
- Boro
- Selenio
- Cloro total residual
- Biocidas
- Antimonio
- Esteres Ftalatos

Debido a las características físico químicas del agua estudiada y las condiciones del suelo las posibilidades de contenerlas serían mínimas, sin embargo, de determinarse que el suelo puede contener alguno de estos parámetros es necesario realizar la evaluación detallada de los mismos con el fin de poder reusar el agua de la forma correcta y sin afectar el medio donde se utilice.

- El agua subterránea producto de la extracción minera por socavones según los parámetros estudiados y los valores límite máximos permisibles, se puede verter a un afluente de agua superficial, reusar para descargas de sanitarios y reusar en sistemas de red contra incendios sin ningún tratamiento adicional.
- El agua subterránea producto de la extracción minera por socavones según los parámetros estudiados y los valores límite máximos permisibles para reúso en: Cultivos de pastos y forrajes para consumo animal, cultivos no alimenticios para humanos o animales, cultivos de fibras celulósicas y derivados, cultivos para la obtención de biocombustibles (biodiesel y alcohol carburante) incluidos lubricantes, cultivos forestales de madera, fibras y otros no comestibles y cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos o animales y que han sido sometidos a procesos físicos o químicos o áreas verdes en parques y campos deportivos en actividades de ornato y mantenimiento y jardines en áreas no domiciliarias requiere un tratamiento adicional con el fin de disminuir la concentración de sólidos disueltos totales e hidrocarburos totales.
- Como tratamiento para disminuir los sólidos disueltos totales y no superar el valor límite máximo permisible según la resolución 1207 de 2014 para reúso agrícola se establece: Realizar un sistema de osmosis inversa, filtros y suavizantes o un proceso de ultrafiltración, residas intercambiadoras de iones o sedimentación; lo cual permitirá disminuir los sólidos disueltos de 1104 ppm concentración presente en el agua estudiada a 960 ppm o menos según los requerimientos de la resolución.

- Como tratamiento para disminuir la concentración de hidrocarburos totales y no superar el valor límite máximo permisible según la resolución 1207 de 2014 para reúso agrícola se establece: Realizar un proceso de coagulación y floculación química. Luego de realizar alguno de estos procesos de tratamiento, los cuales se determinarán exactamente cuándo se tengan los resultados de cada mina el agua se podrá utilizar para reúso agrícola.
- De acuerdo con el análisis de resultados y las comparaciones que hicimos con el objetivo de analizar el posible uso del agua, se concluye que la cantidad de Fenoles No cumple con el valor permisible según la resolución 1207 de 2014 para reúso Industrial, por lo que se plantean hacer la remoción de fenoles mediante 3 métodos, tratamiento acuático con Jacinto de Agua, Oxidación con Ozono y Peróxido de Hidrogeno y Mediante un reactor anaerobio de flujo a pistón.
- El tratamiento para cada uno de los reúsos, teniendo en cuenta la Resolución 0631 de 2015 y la resolución 1207 de 2014 permite a la comunidad pensar en el reuso y en el no peligró de optimizar el recurso proveniente de la extracción de carbón, aunque en la zona la cantidad de agua a reusar no está afectando, si podría ser un recurso que podría ayudar a los campesinos de la zona en sus actividades diarias, y en sus necesidades básicas.

11. REFERENCIAS

- Agencia Nacional de Minería. (2013). *El Título Minero*. Bogotá D.C.
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de enfermedades. (6 de mayo de 2016). *ATSDR*. Obtenido de Resúmenes de Salud Pública- Vanadio (Vanadium): https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs58.html
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (Septiembre de 2003). *ATSDR*. Obtenido de Resumen de Salud Pública - Selenio (Selenium): https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs92.html
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2003). *RESUMEN DE SALUD PÚBLICA Fluoruros, Fluoruro de Hidrógeno y Flúor*. Springfield: Atlanta, GA 30333.
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (Abril de 2004). *National Technical Information Service*. Obtenido de Resumen de Salud Pública - Cobalto: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs33.html
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (6 de mayo de 2016). *ATSDR*. Obtenido de Resúmenes de Salud Pública - Boro (Boron): https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs26.html
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (6 de mayo de 2016). *National Technical Information Service (NTIS)*. Obtenido de Reseña Toxicológica de los Berilio: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs4.html
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (s.f.). *Resumen de salud pública - Fluoruros, fluoruro de hidrogeno y fluor (Fluorides, Hydrogen Fluoride and Fluorine)*.
- Asociación Mexicana de Microbiología, AC. (2005). Mecanismos moleculares de patogenicidad de Salmonella sp. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 47(1-2), 25-42.
- Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental. (Octubre de 2017). *Molybdenum in drinking-water*. Obtenido de Molybdenum: http://www.bvsde.paho.org/CD-GDWQ/docs_quimicos/Molibdeno.pdf
- Centro para el control y la prevención de enfermedades. (18 de Octubre de 2016). *Centro para control y prevención de enfermedades*. Obtenido de Parásitos: <https://www.cdc.gov/parasites/es/about.html>

- Díaz Pérez, M., Rodríguez Martínez, C., & Zhurbenko, R. (2010). Aspectos fundamentales sobre el genero *Enterococcus* como patógeno de elevada importancia en la actualidad. *SciELO*.
- Dirección técnica de gestión de acueducto y alcantarillado. (Octubre de 2015). Evaluación integral de prestadores red vital Paipa S.A. E.S.P. Boyaca, Paipa.
- EPA. (26 de 04 de 2019). *Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos*. Obtenido de Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos: <https://espanol.epa.gov/>
- Escalante, V., Cardoso, L., Ramírez, E., Moeller, G., Mantilla, G., Montecillos, J., . . . Villavicencio, F. (s.f.). EL REUSO DEL AGUA RESIDUAL TRATADA EN MEXICO . *Seminario Internacional sobre Métodos para el Tratamiento de Aguas Residuales*. Mexico.
- European Aluminium Association. (2008). *Compuestos de aluminio en tratamiento de aguas*. Madrid: Asociación Española del Aluminio.
- Fondo Para El Logro de ODM. (2012). *Estudio de la calidad de fuentes utilizadas para consumo humano y plan de mitigación por contaminación por uso doméstico y agroquímicos en Apurímac y Cusco*. Lima: Ecofluidos Ingenieros S.A.
- Geotecnia Fácil. (06 de Agosto de 2018). *¿Que es el nivel freático?* Obtenido de <http://geotecniafacil.com/que-es-el-nivel-freatico-definicion-piezometrico/>
- González González, M. I., & Chiroles Rubalcaba, S. (Marzo de 2011). Safe use and microbiological risks of wastewater for agriculture. La Habana.
- Gonzalez, S., Maldonado, L. E., & Gonzalez, O. (2002). Tratamiento de aguas residuales utilizando biopelículas sobre un medio poroso. *Congreso interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, 1-8.
- Guart, A., Serra Jové, J., & Taplas Parcerisas, J. (noviembre de 2014). *Industria Química Equipos y Plantas de Proceso*. Obtenido de Tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos: <https://www.industriaquimica.es/articulos/20141105/tratamiento-aguas-contaminadas-hidrocarburos>
- James, J. (1976). Lagunas de Jacintos; Tratamiento barato de aguas cloacales. *Desarrollo Nacional*, 10-17.
- Lenntech. (Junio de 2004). *WATER TREATMENT*. Obtenido de Litio y agua: mecanismos de reacción, impacto ambiental y efectos en la salud: <https://www.lenntech.es/litio-y-agua.htm>

- Maga, j., Logreira, N., & Serralt, J. (12 de 02 de 2001). Reuso de aguas residuales: Un recurso hidrico disponible. Valencia.
- MARIA ANTONIA BLANCO. (2016). *TRANSFORMACIONES DE ENERGÍA* . Obtenido de <http://techmab.weebly.com/fisica.html>
- Medina, I. H. (1995). Tratamiento de aguas residuales domésticas a temperaturas sub óptimas (13°C) en un bioreactor anaerobio de flujo a pistón a escala de laboratorio. *CEPIS*.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (17 de marzo de 2015). *Resolucion N° 0631*. Bogota.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (25 Julio 2014). *Resolucion N°. 1207*. Bogota.
- Ministerio de minas y energia - Unidad de Planeacion Mirero Energetica. (2012). *Cadena del carbon*. Bogota DC: UPME.
- Ministerio de minas y energia-Unidad de planeación minero energetica y Universidad de Cordoba. (2015). *Guía de orientación para el minero sobre el correcto manejo de vertiminetos para la minería de metales preciosos y de carbón*. Bogotá.
- Ministerio de Minería Cobierno de Chile. (2019). *Ministerio de minería* . Obtenido de Glosario: <http://www.minmineria.gob.cl/glosario-minero-s/socavon/>
- Muñoz B, F., & Paredes B, A. (2014). Descontaminación de fenoles en el efluente de una refinería ecuatoriana, mediante el uso de ozono y combinaciones con peróxido de hidrógeno. *Escuela Politécnica Nacional. Vol 34.*, 1-6.
- Mura Bernardes, A., Siqueira Rodrigues, M. A., & Zoppas Ferreira, J. (2014). *Electrodialysis and Water Reuse (Novel approaches)*. New York: Springer.
- Observatorio de conclictos mineros de America Latina. (26 de Febrero de 2013). *CMAL*. Obtenido de <https://www.ocmal.org/ique-es-extractivismo/>
- Oxidine Water Technology. (s.f.). <http://www.oxidine.net/>. Obtenido de Reducción de Sólidos: <http://www.oxidine.net/productos/reduccion-de-solidos/#toggle-id-2>
- Pall Corporation. (MAyo de 2012). Tratamineto de Aguas en la Industria Minera. *Tecnologias de Separación y Filtración para Tratamineto de Aguas en Minería*. Washington.
- Pure Aqua, INC. . (s.f.). *Osmosis Inversa & Sistemas de Tratamiento de Agua*. Obtenido de Reducción TDS (Solidos Totales Disueltos): <https://es.pureaqua.com/reduccion-tds-solidos-totales-disueltos/>


- Ramírez Ortega, A., & San José Arango, C. (2010). *El socio en la naturaleza*. Barcelona: Anales de la Real Academia de Doctores de España.
- Romero Rojas, J. A. (2002). *Tratamiento de aguas residuales*. Bogotá. D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rubio, J., Carissimi, & Rosa, J. (2007). Flotation in water and wastewater treatment and reuse. *Environment and Pollution*, 193-206.
- Smart Fertilizer Management. (2016). *Guía de cultivos, nutrición de plantas, fertilizantes y más!* Recuperado el 2019, de La conductividad Eléctrica del Agua: <https://www.smart-fertilizer.com/es/articles/electrical-conductivity>
- Unidad de Planeacion Minero Energetica. (Febrero 2017). *Escenario y estrategia mminera energetica*. Bogota D.C.: UPME.
- Vera Torrejón, J. A. (30 de Octubre de 2015). Mecanismos de producción más limpia: El reúso de aguas residuales en la actividad minera.

ANEXOS

**ANEXO 1 RESULTADOS DE LABORATORIO, PARÁMETROS EVALUACIÓN
SEGÚN RESOLUCIÓN 0631 DE 2015 Y RESOLUCIÓN 1207 DE 2014.**

2019-07-25

INFORME DE RESULTADOS

GC-F-008 V06 INFORME DE RESULTADOS 1013-19	 IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Resolución 0305 de 21 de marzo de 2019
--	---

DATOS DE LA MUESTRA			
Fecha toma muestra	2019-06-27	Fecha de informe	2019-07-24
Hora toma muestra	9.30 A.M.	ID muestra	1013-19
Sitio muestreo		Tipo muestreo	Puntual
Tipo muestra	Agua residual no domestica	Informe	ORIGINAL

RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO Y MEDICIONES EN SITIO					COMPARACION RESOLUCION 0631 DEL 2015 –ART. 10
VARIABLE	METODO	UNIDADES	1LC	RESULTADOS	
pH ²	S.M. 4500 H –B Método electrométrico	Unidades	NA	8,2	6,00 -9,00
Temperatura ²	S.M. 2550 - B Método Laboratorio y campo	°C	NA	21,7	NR
Sólidos sedimentables ²	S.M. 2540 F Sólidos Sedimentables	ml /L	0,10	1,0	2,00
Demanda Química de Oxígeno	S.M. 5220 C. Reflujo cerrado – Titulación	mg O ₂ /L	50	<50	150
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SM 5210 B Incubación 5 Dias. SM 4500 O.G Electrodo de Membrana	mg O ₂ /L	20	<20	50
Sólidos Suspendidos Totales	S.M. 2540 D Sólidos Suspendidos Totales Secados 103 °C – 105 °C	mgSST/L	10	14	50
Aceites y grasas	S.M. 5520 B. - Extracción liquido liquido partición gravimétrica	mgAyG/L	10	23	10
Fenoles	S.M. 5530 D. Método fotométrico directo	mg Fenol/L	0,10	0,19	0,20
Surfactantes -SAAM	S.M. 5540 C Surfactantes Aniónicos como SAAM	mgSAAM/L	0,40	<0,40	Análisis y reporte
Cloruros	S.M. 4500 – Cl B Método Argentométrico	mg/L Cl-	5	5	500,0
Nitratos ³	S.M. 4500-NO ₃ -B	mg-NNO ₃ /L	1	<1,00	Análisis y reporte
Nitritos ³	S.M. 4500-NO ₂ -B – Método Colorimetría	mg-NNO ₂ /L	0,02	0,0406	Análisis y reporte
Nitrógeno Amoniacal ³	S.M. 4500 – NH ₃ B, C Destilación Método Ti trimétrico	mgNNH ₃ /L	0,054	<0,054	Análisis y reporte

GC-F-008 V06 INFORME DE RESULTADOS 1013-19	 IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales Resolución 0305 de 21 de marzo de 2019
--	---

RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO Y MEDICIONES EN SITIO					COMPARACION RESOLUCION 0631 DEL 2015 –ART. 10
VARIABLE	METODO	UNIDADES	LC	RESULTADOS	
Nitrógeno Orgánico Total – Kjeldahl ³	S.M. 4500 – Norg C - S.M. 4500 NH ₃ B,C	mgNTK/L	3,0	<3,0	Análisis y reporte
Fosforo Total ³	S.M. 4500-P B, D – Método Colorimetria	mg P/L	0,070	<0,07	Análisis y Reporte
Ortofosfatos - Fosfatos ³	S.M. 4500-P, D – Método Colorimetria	mgP-PO ₄ /L	0,21	<0,21	Análisis y reporte
Tensoactivos – SAAM	S.M. 5540 C Surfactantes Aniónicos como SAAM	mgSAAM /L	0,40	<0,40	Análisis y reporte
Hidrocarburos totales	S.M. 5520 D, F	mgHT/L	5	10	10,00
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos –HAPs ³	EPA 3510 C / 8100 Extracción líquido –líquido, CG /FID	mgHAP/L	0,002	<0,002	Análisis y reporte
Compuestos Halogenados Adsorbibles –AOX ³	ISO 9562 PSE Pírolisis micro coulombimetrica	mgAOX/L	0,070	<0,070	Análisis y reporte
BTEX (Benceno, Tolueno, Estireno Xileno) ³	EPA 5021 A / EPA 8015 D Head Space –CG-FID	mg/L	0,1	<0,1	Análisis y reporte
Cianuro ³	ASTM D 7511-12 Flujo segmentado	mgCN/L	0,01	<0,01	1,00
Sulfuros ³	S.M. 4500 S2 C-F Metodo Yodometrico	mgS ² /L	1,0	<1,0	1,00
Sulfatos	S.M. 4500 SO ₄ – E Método turbidimetrico	mgSO ₄ /L	10	29	1200,00
Arsénico ³	EPA 7062, S.M. 3114 C Digestión AA Generación de Hidruros	mgAs/L	0,0025	<0,0025	0,10
Cadmio ³	S.M. 3030 E S.M 3111 B Digestión AA-Llama aire-acetileno	mgCd/L	0,01	<0,01	0,05
Cinc ³	S.M. 3030 E S.M 3111 B Digestión AA-Llama aire-acetileno	mgZn/L	0,050	<0,050	3,00
Cobre ³	S.M. 3030 E S.M 3111 B Digestión AA- Llama aire acetileno	mg/L Cu	0,1	<0,1	1,00
Cromo ³	S.M.3030 E S.M 3111 B Digestión AA- Llama aire acetileno	mg/L Cr	0,100	<0,100	0,50
Hierro ³	S.M.3030 E S.M 3111 B Digestión AA- Llama aire acetileno	mgFe/L	0,200	<0,200	2,00
Mercurio ³	S.M 3112 B Digestion aa- Vapor frio	mgHg/L	0,0010	<0,0010	0,002
Niquel ³	S.M.3030 E S.M 3111 B Digestión AA- Llama aire acetileno	mgNi/L	0,2	<0,2	0,50
Plata ³	S.M.3030 E S.M 3111 B Digestión AA- Llama aire acetileno	mgAg/L	0,05	<0,05	Análisis y reporte
Plomo ³	S.M.3030 E S.M 3111 B Digestión AA- Llama aire acetileno	mgPb/L	0,1	<0,1	0,20
Acidez	SM 2310-B Método titulometrico	mg/L CaCO ₃	5	23	Análisis y reporte
Alcalinidad	SM 2320-B Método titulometrico	mg/L CaCO ₃	20	236	Análisis y reporte

Julieth Manzanares y Windy Rincón

GC-F-008 V06 INFORME DE RESULTADOS 1013-19	 IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estadística Ambiental Resolución 0305 de 21 de marzo de 2019
--	--

RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO Y MEDICIONES EN SITIO					COMPARACION RESOLUCION 0631 DEL 2015 –ART. 10
VARIABLE	METODO	UNIDADES	¹ LC	RESULTADOS	
Dureza Total	SM. 2340 C Método Volumétrico con EDTA	mg/L CaCO ₃	5	400	Análisis y reporte
Dureza Cálcica	SM. 3500 Ca – B Método Volumétrico con EDTA	mg/L CaCO ₃	5	217	Análisis y reporte
Color real 436 nm	ISO 7887:1994	m-1	NA	19	Análisis y reporte
Color real 525 nm				10	Análisis y reporte
Color real 620 nm				5	Análisis y reporte

¹LC: Límite de cuantificación ²Parámetros de medición in situ ³Parámetros subcontratados NA: No Aplica NR: No reporta

CONCLUSIONES

Los resultados registrados corresponden únicamente a la muestra analizada e identificada con ID 1013-19.

Análisis realizados de acuerdo a los lineamientos de American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Edition 23.

Prohibida la reproducción parcial o total de este informe sin autorización del cliente.

ANEXOS

Resolución de acreditación 0305 del 21 de marzo de 2019
 Reporte de resultados Laboratorio Chemilab SAS
 Resolución de acreditación 0288 del 19 de Marzo de 2019


Dennys Alejandra Samacá Ch.
 Director de Calidad - R.P. 15625


Blanca Samacá Ch.
 Director Técnico - PQI - 560

Fin del Informe

RESULTADO DE ANALISIS PRELIMINAR



REPORT DE RESULTADOS							
Item	Fecha de Análisis (AAAA-MM-DD)	Parámetro	Unidad	Método Analítico	LÍMITE CUANTIFICACIÓN CHEMILAB	1013 MI130230	*NO REQUIERE NORMA*
1	2019-07-22	Arsénico Total*	mg As/L	EPA 7062, SM 3114 C	0,0025	<0,0025	-
2	2019-07-16	Cadmio Total*	mg Cd/L	SM 3030 E, SM 3111 B	0,01	<0,01	-
3	2019-07-15	Cobre Total*	mg Cu/L	SM 3030 E, SM 3111 B	0,1	<0,1	-
4	2019-07-23	Compuestos Orgánicos Volátiles (BTEX)*	mg/L	EPA 5021A / EPA 8015D	0,1	<0,1	-
5	2019-07-19	Cromo Total*	mg Cr/L	SM 3030 E, SM 3111 B	0,1	<0,100	-
6	2019-07-18	Fósforo total*	mg P/L	SM 4500 -P B,E	0,07	<0,07	-
7	2019-07-24	Halogenos Adsorbibles enlazados Orgánicamente* (AOX)	mg/L	ISO 9562	0,07	<0,070	-
8	2019-07-22	HAPs (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos)*	mg/L	EPA 3510 C / EPA 8100	0,002	<0,002	-
9	2019-07-16	Hierro Total*	mg Fe/L	SM 3030 E, SM 3111 B	0,2	<0,200	-
10	2019-07-22	Mercurio Total*	mg Hg/L	SM 3112 B	0,001	<0,0010	-
11	2019-07-22	Niquel Total*	mg Ni/L	SM 3030 E, SM 3111 B	0,2	<0,2	-
12	2019-07-13	Nitratos* (Aguas Residuales alta MQ)	mg NO3/L	SM 4500 NO3 D	1	<1,00	-
13	2019-07-13	Nitritos*	mg NO2/L	SM 4500 NO2 B	0,02	0,0406	-
14	2019-07-24	Nitrógeno amoniacal (Amonio)*	mg/L NH3-N	Asian Journal of applied Sciences 2 (4): 363-371, 2009. ISSN 1996-3343 Modificado	0,054	<0,054	-
15	2019-07-23	Nitrógeno total Kjeldahl*	mg N/L	Semi-micro Kjeldahl SM 4500-Norg C, SM 4500 NH3 B,C	3	<3,00	-
16	2019-07-13	Ortofosfatos* (mg PO4/L)	mg PO4/L	SM 4500-P-E	0,21	<0,210	-
17	2019-07-17	Plata Total*	mg Ag/L	SM 3030 E, SM 3111 B	0,05	<0,05	-
18	2019-07-23	Plomo Total*	mg Pb/L	SM 3030 E, SM 3111 B	0,1	<0,1	-
19	2019-07-17	Sulfuros*	mg S2-/L	SM 4500 S2 CF	1	<1,0	-
20	2019-07-18	Zinc Total*	mg Zn/L	SM 3030 E, SM 3111 B	0,05	<0,050	-

ARI: Agua Residual Industrial, ARD: Agua Residual Doméstica, AS: Agua Superficial o Subterráneas, AP Agua Potable, S: Suelo, C: Corte
 *ChemLab tiene estos parámetros acreditados mediante resolución 2016 de 2014 de, IDEAM
 ** Análisis realizados por laboratorio subcontratado acreditado
 Parámetro no acreditado

ANEXO 2 RESULTADOS DE LABORATORIO OBTENIDOS POR PROPIETARIOS DE MINA EN PAIPA.

ANEXO 3 COMUNICADO CONFIDENCIALIDAD

Noviembre de 2019

Carta de Confidencialidad

Yo Windy Rincón Lozano, identificada con Cedula de Ciudadanía 1.020.797.907 de Bogotá D.C, Involucrada en los estudios al Agua Residual de Una mina de Carbón en Paipa, Boyacá. Me comprometo a no mencionar el lugar de dicho estudio, de acuerdo con lo pactado con el propietario de la Mina de Carbón, en agradecimiento a su apoyo para realizar este trabajo de Investigación.

Se deja estipulado por medio de este oficio que todos los datos de estudio y resultados de laboratorio nombrados y utilizados en este Trabajo de grado pertenecen a las autoras de la tesis “REUSO DE AGUA RESIDUAL EN EXPLORACIÓN MINERA POR SOCAVONES” por lo tanto los datos de los laboratorios costeados por las dos estudiantes son confidenciales, y NO PODRAN ser utilizados sin previa autorización de las mismas.

Windy Rincón Lozano

Windy Rincón Lozano
C.C. 1.020. 797.907 de Bogotá
Tel: 3228575951

Noviembre de 2019

Carta de Confidencialidad

Yo Julieth Manzanares Gómez, identificada con Cedula de Ciudadanía 1.018.459.879 de Bogotá D.C, Involucrada en los estudios al Agua Residual de Una mina de Carbón en Paipa, Boyacá. Me comprometo a no mencionar el lugar de dicho estudio, de acuerdo con lo pactado con el propietario de la Mina de Carbón, en agradecimiento a su apoyo para realizar este trabajo de Investigación.

Julieth Manzanares y Windy Rincón

Se deja estipulado por medio de este oficio que todos los datos de estudio y resultados de laboratorio nombrados y utilizados en este Trabajo de grado pertenecen a las autoras de la tesis "REUSO DE AGUA RESIDUAL EN EXPLOTACIÓN MINERA POR SOCAVONES" por lo tanto los datos de los laboratorios costeados por las dos estudiantes son confidenciales, y NO PODRAN ser utilizados sin previa autorización de las mismas.



Julieth Manzanares Gómez
C.C. 1.018.459.879 de Bogotá D.C
Tel: 3168241291