

**Alternativas de disposición para la fitorremediación de suelos  
contaminados por actividades mineras**

**Trabajo de grado para optar por el título de Especialista en Gestión Integral de  
Residuos Sólidos y Peligrosos**

**Eliana Isabel López Corrales**

**Corporación Universitaria Lasallista  
Facultad de Ingenierías**

**Especialización en Gestión Integral de Residuos Sólidos y Peligrosos**

**Caldas (Antioquia)**

**2014**

## Contenido

Introducción .....	5
Justificación .....	6
Problema .....	9
Marco teórico .....	10
Fitorremediación .....	12
Plantas en estudio: .....	15
Brassica nigra .....	15
Guarumo (cecropia peltata).....	16
Minería en Colombia .....	19
Minería filoniana.....	21
Impacto Ambiental por la explotación .....	21
Mercurio .....	23
Amalgama de Oro. ....	25
Efectos Característicos del Mercurio.....	25
Cianuro .....	27
Cianuración .....	28
Efectos Característicos del Cianuro .....	29
Residuos Peligrosos .....	31
Tratamiento y disposición Final .....	33
Celdas de Seguridad .....	33
Horno Incinerador .....	35

Objetivos .....	37
Objetivo general .....	37
Objetivos específicos.....	37
Metodología .....	38
Resultados .....	41
Bibliografía .....	44

### **Lista de ilustraciones**

Ilustración 1 Planta Brassica Nigra.....	16
Ilustración 2 Planta Guarumo .....	17
Ilustración 3 Causas y Efectos de la explotación del metal precioso en la minería a pequeña escala en Colombia (Subdirección De Planeación Minera. , 2007) .....	22
Ilustración 4 Propiedad físicas del mercurio.....	24
Ilustración 5 propiedades físicas y químicas cianuro.....	28
Ilustración 6 Celdas de Seguridad Tecniamsa .....	35
Ilustración 7 Horno Incinerador Tecniamsa.....	36

## **Introducción**

Los procesos mineros que se desarrollan en el Departamento de Antioquia han generado el deterioro de grandes extensiones de recursos, en los lugares donde se han establecidos dichos procesos durante los últimos 170 años, además de afectaciones trasladadas a los recursos agua y aire, que repercuten en otras zonas y comunidades, como es el caso del municipio de Segovia en el departamento de Antioquia originando contaminación en los cuerpos de agua y los suelos, causados por elementos tóxicos tales como el Mercurio y el Cianuro.

Es de carácter urgente identificar alternativas de intervención a los suelos deteriorados, para su recuperación y darles un uso adecuado, permitiendo así llegar a brindar servicios ambientales que beneficien a las mismas comunidades y a la vez llegar a ofrecer unas alternativas mucho mas amigables con el medio ambiente.

Dentro de las actividades identificadas para la ejecución de la remediación se cuenta con la implementación de plántulas que posibiliten la descontaminación causado por el efecto de los contaminantes asociados a la minería. Esta situación nos reta como futuros expertos en Gestión Integral de Residuos Sólidos y Peligros para procurar generar alternativas para la disposición de los residuos peligrosos generados en este tipo de establecimientos comerciales.

## Justificación

La apuesta minera en Colombia se basa en políticas neoliberales y neoconservadoras plasmadas en el Código de Minas (Ley 685 del 2001), donde se parte de premisas como la incapacidad del Estado de generar riqueza a través de empresas mineras de capital público y la necesidad de involucrar a capitales privados, muchos de ellos transnacionales, en la exploración y explotación de recursos minerales. La participación estatal sólo se limitará entonces a la promoción y la fiscalización de la actividad. Lo anterior diferencia la actividad minera propiamente dicha de la petrolera, donde aún existe una empresa mayoritariamente estatal. Esta aclaración es clave, pues los estudios fiscales suelen unir en un mismo rubro petróleos y minería, a pesar de diferencias como la mencionada y que las regalías son mucho mayores en términos de porcentajes, que son: hidrocarburos (8 al 25%), sal (12%), carbón (5 al 10%), oro de filón o diseminado (4%) y materiales de construcción (1%). (Morales Fierro, 2011)

Antes de que el oro colombiano fuera objetivo de los conquistadores, este mineral ya era medio de subsistencia de gran parte de la población. Aun hoy en día la mayoría de la producción aurífera del país corresponde a la pequeña minería. En los últimos años compañías de países como Canadá, Inglaterra y Suráfrica han intensificado su actividad en la ejecución de proyectos de extracción de oro en Colombia, incrementando fuertemente la explotación a gran escala. Los pequeños mineros, en cambio, se encuentran marginalizados y en algunos casos perseguidos por su labor tradicional. En la actualidad la producción de oro alcanza las 40 toneladas anuales, y según el Plan Visión Colombia 2019 se espera llegar para ese año a 80 toneladas anuales

Los índices de violaciones de derechos humanos en zonas mineras son alarmantes, incluso el último informe del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) llama la

atención a este fenómeno y señala que la competencia por uso del suelo y subsuelo puede convertirse en una forma soterrada de presión y despojo de la tierra.

El deterioro ambiental generado por toda la minería en el cuarto país con más biodiversidad del mundo ya es evidente. Para la extracción de minerales como el oro, suelen utilizarse productos altamente tóxicos como el cianuro que contaminan la tierra y las fuentes hídricas de la zona y por ende impide la vida de las comunidades habitantes. Además, para los proyectos mineros a gran escala, se hace necesario Unos mineros de Segovia (Antioquia) antes de entrar al trabajo. Los índices de violaciones de derechos humanos en zonas mineras son alarmantes. Cambiar los cursos de los ríos y generalmente utilizan grandes explosiones con dinamita, que producen unos niveles de ruido de gran magnitud que provocan que los animales al igual que las personas, cambien su hábitat o incluso su comportamiento alimenticio y reproductivo. Igualmente suele ser necesaria la construcción de infraestructuras precedidas por la deforestación del lugar.

La inquietante preocupación por los metales en el ambiente es sus características como las condiciones bio-acumuladoras de tóxicas y su gran persistencia en el ambiente, hacen que los metales pesados sean de alta peligrosidad para la salud humana, siendo los más nocivos el mercurio (Hg), el cadmio (Cd) y el plomo (Pb), seguidos por el cobre (Cu), zinc (Zn), Cromo (Cr) y níquel (Ni). Uno de los problemas más graves es su acumulación dentro de la cadena trófica, ya que al no ser biodegradables se mantienen a nivel molecular dentro de cada especie, aumentando su toxicidad por cada nivel que avanzan en la cadena, siendo el humano el último nivel y el más expuesto a elevadas concentraciones de los mismos.

Por lo que las altas concentraciones de metales pesados en el suelo pueden causar un problema de seguridad en la producción de cultivos, calidad de los alimentos y salud del medio

ambiente, además de grandes conflictos debido a la muerte de animales, enfermedades crónico-degenerativas y enfrentamientos entre la industria y la población. (Puga, Sosa, Lebgue, Quintana, & Campos, 2006)

La contaminación ambiental, es uno de los mayores problemas de la humanidad. Es así como las empresas influyen sobre su entorno, generalmente en forma negativa, más aun toda actividad humana, especialmente cuando da lugar a concentraciones importantes, trae consigo alguna forma de contaminación.

En nuestro medio resulta particularmente grave que a partir del crecimiento demográfico que ocurre en los municipios auríferos y de la explotación intensiva de este recurso, se viene generando un incremento alto de los agentes contaminantes generados por un mal uso de los productos químicos utilizados para su beneficio (mercurio y cianuro, principalmente), que pone en peligro la convivencia entre los actores y el medio ambiente, lo cual se evidencia en la alteración de las fuentes hídricas, de la calidad del aire, del suelo y de los diferentes ecosistemas de la región.

Existe un claro problema de contaminación en los suelos derivados de procesos mineros mal controlados y aun en aquellos que han sido controlados. Por tanto, es importantes evaluar el potencial de las plántulas para la biorremediación de los suelos ocasionada por los residuos peligrosos resultantes de los procesos de la minería, en este proyecto se buscarán alternativas biológicas para su recuperación.

## **Problema**

Será importante buscar alternativas de solución para las plántulas arbóreas y maleza, que se utilizan para la biorremediación de los suelos contaminados con cianuro y mercurio en los procesos de la minería para el municipio de Segovia del departamento de Antioquia, utilizados como sistemas biológicos predominantes principalmente en la región a impactar. Es de vital importancia dar solución a uno de los problemas de contaminación ambiental que con mayor frecuencia se tiene en las zonas mineras de nuestro país.

## Marco teórico

El municipio de Segovia está ubicado a una altura de 650 metros sobre el nivel del mar y su temperatura medio es de 24° C. Se encuentra a una distancia por carretera a Medellín de 227 Kilómetros, la vía es destapada y en regulares condiciones.

El municipio cuenta con un solo corregimiento cuyo nombre es Fraguas, que está habitado por comunidad negra en un 90%, dista de la cabecera municipal a 35 Kilómetros, su población asciende a 2.300 habitantes. Actividad económica. Se concentra principalmente en la exploración y explotación del material aurífero, el municipio produce el 39,4% del total de la región en oro y el 6,66% de la producción nacional. (Pagina Web del municipio de Segovia)

Los primeros pobladores de “TIERRADENTRO” hoy Segovia fueron las tribus indígenas TAHAMIES y YAHAMESIES. La fiebre del Oro prendió en todas las venas y aventureros llegados desde los más lejanos puntos para emprender la búsqueda de los placeres auríferos. Pocos datos hay sobre aquellas épocas de locura colectiva de la cual se sabe de expediciones enteras perdidas en la selva en la que hallaron la muerte de centenares de hombres.

El suelo es alterado como resultado de las actividades mineras. Una de las extrañezas biogeoquímicas que se generan al momento de la extracción, es el aumento de la cantidad de microelementos en el suelo convirtiéndolos a niveles de macroelementos los cuales afectan negativamente la biota y calidad de suelo; estos afectan el número, diversidad y actividad de los organismos del suelo, inhibiendo la descomposición de la materia orgánica del suelo. Los suelos que quedan tras una explotación minera contienen todo tipo de materiales residuales, escombros estériles, entre otros, lo que representa graves problemas para el desarrollo de la cubierta vegetal, siendo sus características más notables las siguientes: clase textural desequilibrada, ausencia o

baja presencia de la estructura edáfica, propiedades químicas anómalas, disminución o desequilibrio en el contenido de nutrientes fundamentales, ruptura de los ciclos biogeoquímicos, baja profundidad efectiva, dificultad de enraizamiento, baja capacidad de cambio, baja retención de agua y presencia de compuestos tóxicos.(Puga y otros, 2006, pag 149-155)

El concepto de contaminación también merece reflexión. Se define como contaminación, según la Unión Europea, “la introducción directa o indirecta como consecuencia de la actividad humana de sustancias, vibraciones, calor o ruido en el aire, el agua o el suelo que pueden ser nocivos para la salud humana o la calidad del medio ambiente, causar daños a la propiedad material o perjudicar o entorpecer las actividades recreativas y otros usos legítimos de medio ambiente”. Por tanto, nos podemos encontrar con suelos con niveles extraordinariamente elevados de metales pesados por causas naturales (por ejemplo suelos mineros), y no estar catalogados como suelos contaminados. (Navarro-Aviñó, Alonso, & López-Moya, 2007)

Los metales pesados como el mercurio (Hg) son un problema creciente de contaminación ambiental a nivel mundial; este puede encontrarse en suelos de forma natural o debido a actividades antrópicas, como la explotación aurífera. En Colombia, la cantidad de Hg liberado al ambiente, en este tipo de actividad minera, se ha estimado entre 80 y 100 toneladas al año. (Durango y otros, 2010, pag 113-129)

Los metales pesados presentes en los suelos no se comportan como elementos estáticamente inalterables, sino que siguen unas pautas de movilidad generales La dinámica de los metales pesados en el suelo puede clasificarse resumidamente en cuatro vías:

- Movilización a las aguas superficiales o subterráneas.
- Transferencia a la atmósfera por volatilización.
- Absorción por las plantas e incorporación a las cadenas tróficas.

- Retención de metales pesados en el suelo de distintas maneras: disueltos o fijados, retenidos por adsorción, complejación y precipitación.

De los sistemas ambientales el suelo es el medio más estático, donde los contaminantes pueden permanecer durante mucho tiempo. Esta permanencia a largo plazo es especialmente grave en el caso de contaminantes inorgánicos, como los metales pesados, que no pueden ser degradados. Su persistencia, acumulación progresiva y/o su transferencia a otros sistemas supone una amenaza para la salud humana y la de los ecosistemas. (Ortega-Ortiz y otros)

Los metales tienden a acumularse en la superficie del suelo quedando accesibles al consumo de las raíces de los cultivos. Las plantas cultivadas en suelos contaminados absorben en general más oligoelementos y la concentración de éstos en los tejidos vegetales está a menudo directamente relacionada con su abundancia en los suelos, y especialmente en la solución húmeda, excesivas concentraciones de metales en el suelo podrían impactar la calidad de los alimentos, la seguridad de la producción de cultivos y la salud del medio ambiente, ya que estos se mueven a través de la cadena alimenticia vía consumo de plantas por animales y estos a su vez por humanos. (Puga y otros, 2006, pag 149-155)

### **Fitorremediación**

La fitorremediación (phyto=planta y remediación= mal por corregir), es uno de los procesos que utiliza plantas para remover, transferir, estabilizar, concentrar y/o destruir contaminantes (orgánicos e inorgánicos) en el suelo, lodos y sedimentos, y puede aplicarse tanto in situ como ex situ. Los mecanismos de fitorremediación incluyen la rizo degradación, fitoextracción, la fitodegradación y fitoestabilización. (Betancur, 2005 pag 57-60)

La fitorremediación de suelos contaminados se basa en el uso conjunto del metal, y técnicas agronómicas para eliminar, retener, o disminuir la toxicidad de los contaminantes del suelo. Este grupo de fitotecnologías reúne un gran número de ventajas, especialmente la limpieza y la economía; no utilizan reactivos químicos peligrosos, ni afectan negativamente a la estructura del suelo, sólo aplican prácticas agrícolas comunes (Ortega Ortiz, Benavides Mendoza, Alonso Arteaga, & Zermeño González)

La rizo degradación se lleva a cabo en el suelo que rodea las raíces. La sustancia excretada naturalmente por estas, suministra nutrientes para los microorganismos, mejorando así su actividad biológica. Durante la fitoextracción, los contaminantes son captados por las raíces (fitoacumulación), y posteriormente estos son traslocados y/o acumulados hacia los tallos y hojas (fitoextracción). En la fitoestabilización, las plantas limitan la movilidad y disponibilidad de los contaminantes en el suelo, debido a la producción de compuestos químicos en las raíces, que pueden absorber y/o formar complejos con los contaminantes, inmovilizándolos así en la interface raíces-suelos. (Betancur, 2005 pag 57-60)

La fitodegradación consiste en el metabolismo de contaminantes dentro de los tejidos de la planta, a través de enzimas que catalizan su degradación. La fitodegradación puede aplicarse eficientemente para tratar suelos contaminados con compuestos orgánicos como benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (BTEX); solventes clorados; HAPs; desechos de nitrotolueno; agroquímicos clorados y organofosforados; además de compuestos inorgánicos como Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Ni, Se, Zn y Hg. Se ha demostrado también su eficiencia en la remoción de materiales radioactivos y tóxicos de suelo y agua (Betancur, 2005 pag 57-60)

Estas fitotecnologías se pueden aplicar tanto a contaminantes orgánicas como inorgánicas, presentes en sustratos sólidos, líquidos o en el aire. Se distinguen (Carpena & Bernal, 2007):

- **Fitoextracción:** uso de plantas acumuladoras de elementos tóxicos o compuestos orgánicos para retirarlos del suelo mediante su absorción y concentración en las partes cosechables.
- **Fitoestabilización:** uso de plantas para reducir la biodisponibilidad de los contaminantes en el entorno, mejorando las propiedades físicas y químicas del medio.
- **Fitoimmobilización:** uso de las raíces de las plantas para la fijación o inmovilización de los contaminantes en el suelo. Junto con la anterior son técnicas de contención.
- **Fitovolatilización:** uso de plantas para eliminar los contaminantes del medio mediante su volatilización, y para eliminar contaminantes del aire.
- **Fitodegradación:** uso de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes orgánicos.
- **Rizofiltración:** uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua y de otros efluentes acuosos.

Limitaciones que se deben considerar para la aplicación de Técnica:

- El tipo de plantas utilizado determina la profundidad a tratar
- Altas concentraciones de contaminantes pueden ser tóxicas
- La toxicidad y disponibilidad de los productos de la degradación no siempre se conocen y pueden moverse o bioacumularse en organismos vivos.

Cuando las plantas han absorbido los contaminantes acumulados, pueden ser cosechadas. Si los contaminantes químicos orgánicos se degradan en las moléculas como el dióxido de carbono, las plantas pueden no requerir ningún método especial de disposición.

La incineración controlada es el método más común para disponer las plantas que han absorbido grandes de cantidades de contaminantes. Este proceso produce cenizas, que se deben desechar en los sitios destinados para tal fin, ya que estas plantas que han absorbido los metales, durante el proceso de incineración estos metales se ven reflejados en las cenizas. (M.P. Bernal, 2007)

### **Plantas en estudio:**

#### **Brassica nigra**

La mostaza negra o ajenabe ( brassica nigra) es una planta herbacea anual, cre por dispersión de las semillas, que se emplean como especie. Hoy es menos frecuente que la mostaza parda (Braaica juncea) y que la blanca (sinapis spp). , pero se cultiva aún, en especial en India, como fuente de aceite e ingrediente aderezos. Se consume también como vegetal de hoja.

Es una hierba anual, erecta, de tallo ligeramente pubescente y poco ramificado, que puede alcanzar casi 250 cm de altura. Presenta hojas alternas, las inferiores son pinatífidas, con un lóbulo terminal bien pronunciado además de algunos laterales, y de entre 10 y 20 cm de largo, mientras que las superiores son sésile y reducidas.



Se ha reportado últimamente que la especie de mostaza tiene un gran potencial de acumular altas concentraciones de elementos, trazas altamente tóxicas y que puede ser usada para la fitorremediación. (Bharagava RN, 2010)

Se ha evidenciado el óptimo desempeño en la Brassica Juncea (mostaza) para la acumulación de mercurio (Hg) en hojas y raíces (Shiyad y otros, 2009 Pag 619-625), además de la limpieza de suelos contaminados con plomo (Pb), cadmio (Cd), Zinc (Zn) y Cromo (Cr), (Han, Sridhar, Monts, & Su, 2004). En Colombia se encuentra adaptada la especie Brassica nigra que comparte el mismo modelo biológico, por lo que se considera que esta planta posee potencial para la fitorremediación. Adicionalmente, el cianuro es un compuesto que puede ser tratado por fitorremediación, se ha encontrado que plantas como la Salix viminalis(sauce), Hordeum Vulgare L.(cebada), Avena Sativa L. (avena), Sorghum bicolor (caña brava) (Samiotakis M, 2004 Vol. 127), retienen efectivamente cianuro en hojas y raíces.

### **Guarumo (cecropia peltata)**

Es un árbol que puede alcanzar una altura de 15m con diámetro máximo del tronco de 50 cm, los tallos y las ramas son huecas, hasta tal punto que algunas tribus americanas cortaban piezas de un par de metros de longitud y las utilizaban como conductos para el agua y como

medio de comunicación a distancia, sus hojas son grandes de color blanco brillante en la inferior. Su jugo es bastante cáustico, se emplea a veces para elaborar una especie de caucho.

### Ilustración 2 Planta Guarumo



A pesar de que los pastos son el género más utilizado para fitorremediación, también se puede emplear especies maderables debido a que pueden disminuir la concentración de mercurio en suelos contaminados y reforestar zonas erosionadas con historial minero, donde se desarrollan pocas plantas debido a la alta toxicidad generada por este metal pesado. En tal sentido, en la franja de explotación aurífera Colombiana, ubicada entre norte de Antioquia y sur de Bolívar, es abundante la presencia de árboles de guarumo, que es un árbol pionero que nace en suelos poco fértiles, es rápido su crecimiento y genera una considerable biomasa en corto tiempo características que pueden ser útiles para su empleo como planta remediadora. (Durango y otros, 2010, pag 113-129)

El guarumo es una especie que acumula una cantidad considerable de mercurio (Hg) en sus tejidos, y la raíz es la parte de la planta que presenta mayor concentración de mercurio (Hg), seguida de las hojas y finalmente tallos. La capacidad de acumulación en las raíces está relacionada con el mayor grado de contaminación de los suelos y esta se va incrementando a

través del tiempo de crecimiento, en virtud a la mayor cantidad de contaminante que es retenido en su epidermis como defensa a los efectos tóxicos adversos que puede generar el mercurio en las partes superiores de la planta. (Durango y otros, 2010, pag 113-129)

## Minería en Colombia

En el Distrito Minero, el nacimiento del municipio de Segovia está ligado a la creciente actividad minera del oro y a la llegada de la empresa inglesa Frontino Gold Mines, con un campamento de doscientas viviendas. Actualmente posee una Población de 60.000 habitantes

La producción de oro alcanza de oro alcanzada por el Distrito Minero Segovia-Remedios en el año 2004 fue de 3,858.362Kg. La pequeña minería en su mayoría artesanal, tiene aproximadamente 135 minas inscritas y no inscritas 225 en la Secretaria de Minas y Medio Ambiente, las cuales tuvieron una producción de 2.398.682Kg/año, lo cual equivale a un 62% de la producción de la región, según Ingeominas y Frontino Gold Mine (Montoya, 2006)

El 92.3% de la producción de oro en Antioquia, es aportada por los primeros 7 municipios pertenecientes a las regiones del Nordeste y Bajo Cauca, con este gran aporte Antioquia es el primer productor de oro del país contribuyendo con un 62.53% a la producción nacional. Paralelo a la explotación de las minas, existen dentro el casco urbano del municipio de Segovia y sus alrededores múltiples plantas de beneficio conocidas como entables (105) y compraventas de oro (40), la mayoría de estas utilizan el método de amalgamación del oro, realizado a través del mercurio, el cual es una de las mayores fuentes de contaminación existente en estos municipios, situación corroborada por un estudio del CTB de la Universidad de Antioquia 2003, citado por el SIGAM 2004 textualmente dice así: “a partir de monitoreos ambientales, mostraron que la concentración de mercurio, en las cabeceras urbanas de los municipios de Segovia y Remedios está 14 veces por encima de la norma. Lo anterior nos permite asegurar que en estos municipios se respira un aire “metálico” no apto para los seres vivos.” (Montoya, 2006).

Los miles de mineros informales que buscan explotar el oro de los ríos están contaminando el agua con metales pesados como el mercurio y al cianuro. Además, como la amalgama que se forma con estos metales se quema para extraer el oro, el aire también se envenena. La Defensoría encontró que en el aire de los pueblos mineros de Segovia, Zaragoza y Remedios, el nivel de mercurio puede ser hasta mil veces más alto que el permitido. En Remedios se descubrió que 15 personas han pedido trasplante de riñón por intoxicación con mercurio (Ronderos, 2011)

Grandes proyectos mineros también han sido cuestionados por sus posibles efectos nocivos a los ecosistemas. El gobierno de Santos, presionado por la movilización de los habitantes de Bucaramanga, una de las principales ciudades colombianas, puso en entredicho la licencia ambiental otorgada a la minera canadiense GreyStar para explotar un área en el páramo de San Turbán, donde nace el agua que abastece a los bumangueses y la minera debió retirar su proyecto y tendrá que reformularlo. (Ronderos, 2011)

Asimismo, el pasado 6 de julio el gobierno ordenó el cese absoluto de actividades mineras en el Parque Nacional Yaigoje Apaporis, que es además área de resguardo indígena. Allí la empresa canadiense Cosigo hizo varias visitas intentando ganarse el visto bueno de la comunidad para poder explotar el oro, y había conseguido que le dieran un título minero. (Ronderos, 2011)

## **Minería filoniana**

Minería que se da en zonas donde predominan rocas magmáticas que aparecen en forma de filón (El relleno mineral o rocoso de una grieta en otra roca más antigua); están constituidas por magma rocoso solidificado en las grietas de la corteza terrestre.

- Rocas filonianas que coinciden en su quimismo y en su textura con la roca de la que proceden (granito filoniano, basalto filoniano, etc.)

- Rocas filonianas esquisticas: tienen la misma composición química que la roca profunda de la que proceden, su textura es semejante a la de las rocas efusivas (pórfido granítico, pórfido sienítico, etc.).

- Rocas filonianas diaquísticas: difieren tanto en su composición química como en su textura, de la roca de la que proceden (aprita, pegmatita, laprófido, etc.)

La minería en Remedios y Segovia se le puede llamar minería filoniana ya que en estas zonas se presentan varios tipos de estas rocas que les da esta característica en especial.

## **Impacto Ambiental por la explotación**

En Colombia, las plantas, beneficiaderos o entables están construidos, en la mayoría de los casos, cerca a ríos y quebradas, en el mismo sitio se localizan los campamentos y casetas para guardar explosivos, equipos, herramientas e insumos. Los montajes en algunas minas lo constituyen también tolvas, trituradoras, molinos y clasificadores que separan el material grueso del fino, este material pasa a los canalones, construidos en madera o metal con fondos de mallas (costales de fique) y trampas donde se agrega sin control, cantidades de mercurio para

amalgamar principalmente el oro fino. Los residuos o colas de estos canalones que en muchos casos contienen importantes cantidades de oro y mercurio, van directamente a quebradas y ríos cercanos. La figura mostrada a continuación muestra las causas y los efectos en una escala piramidal que trae la explotación artesanal del oro en la minería a escala pequeña.

**Ilustración 3 Causas y Efectos de la explotación del metal precioso en la minería a pequeña escala en Colombia (Subdirección De Planeación Minera. , 2007)**



Como se puede deducir de la imagen anterior, los principales problemas radican en el medio ambiente que a su vez impacta la salud de las personas y comunidades aledañas al desarrollo de dichas actividades, no obstante una vez desmantelada la actividad y extraído todo el material de la zona es cuando realmente se perciben los impactos y deterioros del medio, es allí cuando se interesan por “recuperar “ a toda costa el anterior paisaje, las buenas condiciones del medio y surgen técnicas adecuadas e inadecuadas de realizar procesos de recuperación.

Por lo tanto es de suma importancia saber que la bioremediación es una técnica específica y selectiva para cada tipo de contaminante y al área afectada, razón por la es un método de largo plazo tanto en implementación como en descontaminación, para garantizar la eficiencia de esta técnica se requiere información sustancial y específica de las características del contaminante (concentraciones y tipos) y propiedades tanto físicas como químicas del suelo, dado que esta técnica va en función del pH, nutrientes, porcentaje de humedad, capacidad de carga del suelo entre otros. Un proceso inadecuado de biorremediación puede generar una degradación incompleta consigo generarse subproductos (contaminantes), con un efecto contaminante similar o incluso superior al contaminante inicial

Es difícil predecir o calcular el tiempo requerido para un proceso adecuado de biorremediación de un contaminante que garantice el éxito de esta técnica, además de los tiempos de espera muy largos asociados a la vigilancia, seguimiento y monitoreo (asociado a los análisis) del proceso para garantizar la descontaminación

## **Mercurio**

El mercurio es un elemento y no puede ser creado por el hombre ni puede ser destruido. El mercurio es liberado en el medio ambiente por las erupciones volcánicas y existe de manera natural en la corteza terrestre, a menudo en forma de sales de mercurio, como el sulfuro de mercurio. El mercurio está presente en muy pequeñas cantidades en los suelos no contaminados, a una concentración promedio de alrededor de 100 partes por mil millones (ppmm) [ppb, en la nomenclatura anglosajona: parts per billion]. Las rocas pueden contener mercurio en concentraciones de entre 10 y 20.000 ppmm. Muchos diferentes tipos de actividades humanas

remueven el mercurio de la corteza terrestre con algún propósito, y esto conduce a que el mercurio sea liberado en el medio ambiente en general. (Weinberg, 2007)

“Se denomina residuo peligroso, aquél que por sus características, infecciosas, combustibles, inflamables, explosivos, radioactivas, volátiles, corrosivas, reactivas o tóxicas pueda causar daño a la salud humana o al medio ambiente. Así mismo, se consideran residuos peligrosos los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005)

“Se entiende por residuo tóxico aquél que en virtud de su capacidad de provocar efectos biológicos indeseables o adversos puede causar daño a la salud humana, animal o vegetal y al medio ambiente” (El Ministerio del Medio Ambiente, 1994)

El mercurio es un elemento estable y residual de difícil biodegradación; además, tiene la propiedad de penetrar en las cadenas tróficas y producir bioacumulación y biomagnificación. La presencia de mercurio en organismos vivientes es síntoma de contaminación y pasadas determinadas concentraciones conduce a serios trastornos de salud y de efectos negativos ambientales. (Corporación Autónoma Regional del Cauca, 2007)

Propiedades Físicas del mercurio: (Fichas Internacionales de Seguridad Química, 2001)

#### Ilustración 4 Propiedad físicas del mercurio

PROPIEDADES FÍSICAS	
Punto de ebullición: 357°C	Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1,009
Punto de fusión: -39°C	
Densidad relativa (agua = 1): 13,5	
Solubilidad en agua: ninguna	
Presión de vapor, Pa a 20°C: 0,26	
Densidad relativa de vapor (aire = 1): 6,93	

### **Amalgama de Oro.**

Es una técnica utilizada que se aplica para la recuperación de oro y plata de los minerales del yacimiento, el contacto entre el oro, la plata y el mercurio producen la formación de la amalgama. En teoría todos los granos de oro limpio se amalgaman con mercurio y es una manera más fácil de agrupar las partículas de oro con tamaños entre 20 y 75 micrometros. (Corporación Autónoma Regional del Cauca, 2007)

### **Efectos Característicos del Mercurio**

El mercurio es un contaminante mundial. Cuando el mercurio es liberado en el medio ambiente, se evapora, viaja con las corrientes de aire y luego cae nuevamente a la tierra, algunas veces cerca de la fuente original y otras veces muy lejos. Cuando el mercurio entra en el medio ambiente acuático, los microorganismos pueden transformarlo en metilmercurio, un compuesto de mercurio que es más tóxico a dosis bajas que el mercurio elemental. (Weinberg, 2007)

Sobre seres humanos y animales superiores, los vapores de mercurio son tóxicos, particularmente en las personas que lo manipulan sin ninguna protección y constituyen la forma más frecuente de intoxicación laboral; se absorben por vía pulmonar con síntomas como sabor dulce y metálico, náuseas y vómitos e inflamación de las mucosas respiratorias; el mercurio se acumula en los riñones y el hígado. Las sales inorgánicas del mercurio producen lesiones en la piel y en las mucosas generando inflamación de la garganta, problemas para deglutir, mareos, vómitos, dolor de estómago, diarrea sanguinolenta, colapso circulatorio, tumefacción de las

glándulas salivales, aflojamiento dental e inflamación hepática y renal al igual que “shock”. (Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007)

**Efectos neurológicos:** la exposición al mercurio puede causar daños irreversibles al sistema nervioso de una persona, aunque los más afectados son siempre los humanos que están en sus primeras edades debido a que la afectación es directamente al desarrollo, sin restarle importancia a que las personas ya desarrolladas también se ven de alguna forma afectados. El efecto del mercurio se demora algún tiempo en aparecer pero este trae “déficit en el coeficiente intelectual, déficit neurológico, pérdidas en las funciones motoras y de la concentración y déficit en el desempeño visual-espacial”. (Weinberg, 2007)

**Enfermedad cardíaca y presión arterial alta:** En base a varios estudios hechos con personas que han sido expuestas al mercurio o han consumido pescado contaminado con metil-mercurio, se llega a la conclusión de que se puede duplicar o triplicar el riesgo de un paro cardíaco o afecciones ligadas al funcionamiento del corazón, además en personas que usan el mercurio en su trabajo se evidencian alzas en su presión sanguínea (Weinberg, 2007)

**Efectos sobre el sistema inmunológico:** La salud ocupacional genera una alerta sobre la afectación al sistema inmune por la exposición al mercurio, evidenciando problemas a largo plazo en este sistema cuando se está desarrollando, además hacen que el ser humano quede más susceptible a contraer enfermedades infecciosas y resistentes al tratamiento. (Weinberg, 2007)

**Cáncer:** La Agencia Internacional de Investigación del Cáncer (IARC) y la Agencia para la Protección del Ambiente (EPA) clasificaron al metil-mercurio como un posible carcinógeno humano (EPA Clase C), mostrando en varios estudios la relación de la exposición al mercurio con leucemia, tumores renales en ratones y daños a los cromosomas. (Weinberg, 2007)

**Efectos reproductivos:** Estos efectos no se les ha dado la importancia que merecen, pero en varias evaluaciones hechas a personas que se vieron afectadas en el caso iraquí en 1970 , se encontró un descenso en la tasa de embarazos de aproximadamente un 78 %, por lo que se evidencia que si existe un efecto sobre la reproducción humana. (Weinberg, 2007)

**Efectos en los riñones:** Se conoce que el mercurio metálico y metilado tienen efectos sobre los riñones, debido a que la ingesta de este genera un daño renal severo. (Weinberg, 2007)

**Sobre la cobertura vegetal** los compuestos de mercurio inhiben el desarrollo celular y afectan su permeabilidad. Se a encontrado estudios relacionados a la acumulación de metales donde se reporta que algunas plantas acuáticas, hongos y cultivos como la Zanahoria y la papa, pueden absorber mercurio. (Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007)

## **Cianuro**

Los cianuros, son compuestos (sustancias formadas por la unión de dos o más átomos) que pueden ocurrir en formas naturales o manufacturadas. La mayoría de los cianuros son venenos potentes y de acción rápida, en la minería del oro se utiliza sales de cianuro de sodio o de calcio en el proceso de beneficio, la cual se le conoce como beneficio por percolación o por agitación, actividades en los cuales se observa que las personas que se encuentran a cargo están constantemente expuestas a los vapores y no toman las medidas de precaución.

Las propiedades fisicoquímicas del cianuro se demuestran en la siguiente ilustración tomada de la hoja de seguridad del cianuro.

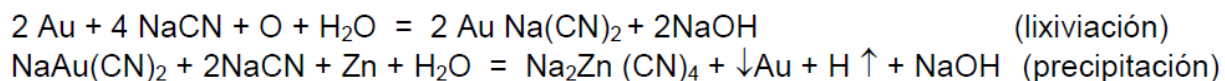
### Ilustración 5 propiedades físicas y químicas cianuro

<b>Temperatura de Ebullición</b>	<b>1496°C (2725 F)</b>
<b>Temperatura de Fusión</b>	<b>564°C (1047 F)</b>
<b>Temperatura de Inflamación</b>	<b>N / A</b>
<b>Temperatura de Auto ignición</b>	<b>N / A</b>
<b>Densidad en Bruto</b>	<b>50-55 lbs/pies</b>
<b>pH (Solución acuosa al 1%)</b>	<b>11.3 – 11.7</b>
<b>Peso Molecular</b>	<b>49.01</b>
<b>Estado Físico</b>	<b>Sólido, granulado, briquetas.</b>
<b>Color</b>	<b>Blanco</b>
<b>Olor</b>	<b>Leve olor a Amoniaco</b>
<b>Solubilidad en Agua (%)</b>	<b>-37 WT%@20°C (68F)</b>
<b>Presión de Vapor</b>	<b>0 mm Hg a 20°C (68F)</b>

### Cianuración

Es un proceso que consiste en la disolución selectiva de metales preciosos en soluciones diluidas de cianuro alcalino. Una vez incluidos los metales preciosos en la solución se procede su precipitación y estos serán sometidos a calcinación y fundición.

La reacción química que ocurre en el proceso de cianuración es:



Como se percibe en la anterior reacción el oro se incorpora a la solución formando un cianuro doble de oro y sodio, al agregar zinc al proceso el oro se precipita junto con la plata, y el zinc reemplaza el oro en la solución, obteniéndose un cianuro doble de zinc y sodio.

Como el cianuro “se gasta” en la lixiviación de los metales preciosos y de otras sustancias, al final del proceso queda solución “pobres”, con contenidos entre 0.2 – 0.3

gramos/litro de cianuro, estas soluciones no solamente contienen cianuro, sino que adicionalmente poseen una parte de oro no precipitado, las soluciones pobres con una concentración mil veces superior a los límites permisibles se descarga (2ppm) son arrojadas cerca de las fuentes de agua. (Corporación Autónoma Regional del Cauca, 2007)

### **Efectos Característicos del Cianuro**

En salud ocupacional, y no obstante que en el trabajo con cianuro lo relevante es la exposición accidental a sus vapores que condiciona un suceso binario de necesidad casi siempre mortal, para el control del expuesto al cianuro por su ocupación se aplican valores o magnitudes considerados 'normales' o 'aceptados como normales. Este control se debe hacer primero manteniendo al cianuro ambiental en el lugar de trabajo bajo el límite recomendado; segundo, proporcionando protección individual permanente y adecuada con equipos normalizados; y, tercero, por control médico del trabajador expuesto que incluya examen de salud ocupacional de periodicidad acorde a la magnitud de la exposición, buscando estigmas del tóxico y midiendo indicadores de exposición. (Ramírez V, 2010)

La exposición ocupacional produce alteraciones tiroideas, cefalea, vértigo, vómito, náuseas, dermatitis y exposiciones altas; a corto tiempo, terminan en paro respiratorio y muerte. Respecto a su poder carcinógeno, al cianuro se le considera en el grupo D de los 'no clasificables como carcinógenos humanos'. Para aplicar mejor las medidas preventivas en el trabajo con cianuros, y en salud pública, es necesario conocer satisfactoriamente su acción tóxica sobre los animales y el hombre. (Ramírez V, 2010)

El sistema nervioso central (SNC) es su órgano blanco primario, pero también la tiroides y el riñón. En animales, se ha demostrado que puede producir fetotoxicidad y efectos teratogénos, como encefalocele, exencefalia y anomalías en el desarrollo de los arcos costales. (Ramírez V, 2010)

El cuadro clínico describe deterioro mental, trastornos visuales por atrofia del nervio óptico, alteraciones tiroideas, dermatitis de características variables, aunque siempre con el fondo de una piel color rojo cereza, debido al incremento de la saturación de la hemoglobina en sangre venosa. En determinados casos se puede hallar cianosis. (Ramírez V, 2010)

En el cuadro clínico de exposición a cianuros no hay nada patognomónico, pero el antecedente de exposición, la aparición temprana y progresiva de síntomas y signos de hipoxia -cefalea, agitación, confusión, convulsiones, tendencia al sueño o coma- deciden el diagnóstico. Solo en 40% de los casos de liberación de cianuro se puede percibir el descrito olor a almendras amargas. (Ramírez V, 2010)

Cuando es ingerido, se presentan trastornos gastrointestinales, dolor abdominal, náuseas y vómitos. Si el ingreso es por inhalación, los síntomas se presentan muy rápidamente -al cabo de pocos minutos- taquipnea, pero luego bradipnea y bradicardia con hipotensión. El cianuro de hidrógeno y los compuestos cianúricos son venenos muy activos sobre el sistema nervioso central, el más sensible del organismo a la falta de oxígeno. Clínicamente, la ingestión entre 50 y 100 mg de cianuro de sodio o potasio es seguida de inconciencia y paro respiratorio. A dosis más bajas, los síntomas tempranos son debilidad, cefalea, confusión. Cuando aparece cianosis es signo de que la respiración ha cesado en los minutos previos. En caso de intoxicación por compuestos cianogénicos, los síntomas pueden tardar horas en aparecer. (Ramírez V, 2010)

## Residuos Peligrosos

La gestión de los residuos o desechos peligrosos (RESPEL) es hoy un tema de preocupación que ha tocado todas las partes del mundo. En vista que somos un mundo cambiante, que se evoluciona y vamos buscando mecanismos tecnológicos cada vez mas estructurados para lograrlo, las sociedades han venido cambiando sus estructuras y sus esquemas de producción y de consumo. El desarrollo tecnológico y los patrones presentes de consumo han traído, como consecuencia, un aumento en los volúmenes de residuos generados en todos los continentes.

En forma genérica se entiende por “residuos peligrosos” a los residuos que debido a su peligrosidad intrínseca (tóxico, corrosivo, reactivo, inflamable, explosivo, infeccioso, ecotóxico), pueden causar daños a la salud o al ambiente. Es decir, la definición de residuo o desecho peligroso está basada en las características intrínsecas de peligrosidad del residuo para la salud o el ambiente y en la no posibilidad de uso por parte del generador que lo produjo. Por lo tanto, la definición no depende del estado físico, ni del manejo al que será sometido posteriormente a su generación.

( Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007)

La toxicidad es una característica intrínseca del residuo y los criterios de toxicidad acogidos en la definición llaman la atención sobre los siguientes conceptos: la toxicidad aguda, la toxicidad con efectos crónicos o retardados, la ecotoxicidad y la prueba de lixiviación (TCLP).

( Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007)

**La toxicidad Aguda:** corresponde a una situación en la que una única exposición a una dosis, generalmente elevada, de un producto o una sustancia química provoca efectos adversos a

la salud de inmediato o poco después de la exposición. La toxicidad aguda se da cuando la dosis rebasa la capacidad del cuerpo de acoger, excretar o detoxificar el producto químico. ( Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007)

-La toxicidad con **efectos Crónicos o Retardados** o corresponde a las situaciones en que se registran exposiciones más bajas (que no causan efectos adversos observables al producirse la exposición inicial), durante algún tiempo y los efectos adversos se desarrollan bien durante la exposición o después de que cesa. ( Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007)

Ejemplos de RESPEL tóxicos son: plaguicidas obsoletos, PCB, Benceno, soluciones de cianuro ya utilizadas, residuos de cadmio, mercurio, etc.

-El concepto de “**Ecotoxicidad**” se refiere a la capacidad que tiene un contaminante de producir daño sobre los organismos presentes en los componentes ambientales. ( Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007)

Los residuos ecotóxicos son perjudiciales o fatales para otras especies (diferentes al hombre), o para la integridad ecológica de su hábitat. Ejemplos de estos residuos son: metales pesados, detergentes, aceites, sales solubles, entre otros.

-La **Prueba de Lixiviación**: para comprender la naturaleza de los residuos, así como el impacto que estos pueden ejercer sobre el medio, es imprescindible conocer o extrapolar el comportamiento de los contaminantes contenidos en el residuo, cuando se encuentran en el medio. Esto es lo que pretende la prueba de lixiviación. Todo residuo, una vez dispuesto en un relleno, está sometido a la acción de los agentes meteorológicos, en particular a la lluvia. Se define la lixiviación como la capacidad de arrastre de partículas contaminantes por el agua. A partir de este punto, la contaminación se multiplica; de ahí la importancia del test de lixiviación.

Por lo tanto una vez se ha determinado la finalidad del proceso, es decir, los periodos en los cuales las plantas al colmatado su capacidad de remoción se deben retirar dichas plantas, realizar nuevamente un numero de análisis y detectar si aún persiste el contaminante en el suelo y cuál es su nueva concentración, ya que una parte se ha removido con la absorción de la planta, y es así como las plantas adquieren la característica de peligrosidad con su contenido del contaminante.

### **Tratamiento y disposición Final**

La disposición final de residuos tiene como objetivo el confinamiento de los mismos, minimizando liberación de contaminantes. En el caso de los RESPEL lo más común es el confinamiento en rellenos de seguridad o en celdas de seguridad. Esta tecnología consiste en la disposición en suelo utilizando obras civiles, con impermeabilización, especialmente diseñadas.

### **Celdas de Seguridad**

Por lo general la disposición final de RESPEL comprende el confinamiento de estos residuos en rellenos de seguridad. Un relleno de seguridad es una obra de ingeniería diseñada, construida y operada para confinar RESPEL en el terreno. Consiste básicamente en una o varias celdas para la disposición de los residuos y un conjunto de elementos de infraestructura para la recepción y acondicionamiento de los residuos, así como para el control de ingreso y evaluación de su funcionamiento.

Para ser considerada como un relleno de seguridad, la obra debe contar como mínimo con los siguientes elementos:

- Sistema de impermeabilización de base y taludes de doble barrera.
- Sistema de captación, conducción y tratamiento de lixiviados.
- Sistema de detección de pérdidas.
- Sistema de captación, conducción y manejo de gases

Cada relleno contará con criterios de aceptación de residuos con base en las características de las celdas y la compatibilidad de los residuos recibidos. Contará además con planes de contingencia y un programa de monitoreo ambiental.

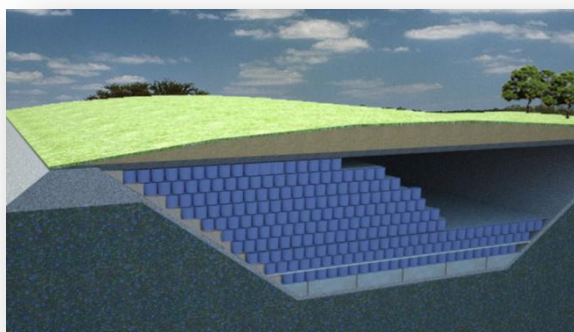
La evaluación de esta opción como sistema de disposición final deberá tener en cuenta que el relleno cumpla con las condiciones mínimas de seguridad para manejar RESPEL y que los residuos a disponer cumplan con las condiciones de aceptación. En caso que no se cumplan, se deberá evaluar si existe la viabilidad de acondicionar los residuos mediante pretratamiento.

Es importante que la autoridad ambiental realice un control y seguimiento riguroso de las instalaciones de disposición final autorizadas en el área de jurisdicción a fin de prevenir y minimizar los riesgos que una instalación de este tipo puede generar cuando no se diseña u opera como es debido, principalmente en aspectos como:

- Filtración de lixiviados en aguas subterráneas
- Escape de agua superficial contaminada hacia el suelo y hacia el recurso hídrico.
- Combustión incontrolada
- Migración de gas hacia el suelo y aire
- Desestabilización de suelos por residuos inestables.

Debido a los riesgos ambientales y las implicaciones (no solo de carácter técnico), que se pueden desprender de la disposición de RESPEL en un relleno de seguridad, la selección de esta alternativa de gestión por parte del generador deberá darse última opción y cuando se haya agotado deberá darse como última opción y cuando se hayan agotado todas las demás alternativas en la estrategia jerarquizada.

### Ilustración 6 Celdas de Seguridad Tecniamsa



### Horno Incinerador

El objetivo fundamental de los hornos es la eliminación total del residuo (mortalidad) utilizando las altas temperaturas controladas hasta transformarlo en cenizas. El éxito de este manejo es el diseño de los hornos que debe garantizar la adecuada capacidad de carga y temperatura relacionada con el ingreso de aire y el combustible (ACPM, gas natural y/o gas propano).

En el proceso de incineración el residuo es oxidado con el oxígeno del aire, generando emisiones gaseosas que contienen mayoritariamente dióxido de carbono, vapor de agua,

nitrógeno y oxígeno. Dependiendo de la composición de los residuos y de las condiciones de operación, las emisiones gaseosas pueden contener además cantidades menores de monóxido de carbono, ácidos clorhídrico, yodhídrico y bromhídrico, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles, PCBs, dioxinas y furanos, y metales, entre otros. En el proceso se generan residuos sólidos (cenizas y escorias constituidas por el material no combustible).

La incineración es un proceso complejo que debe ser cuidadosamente diseñado y operado, requiere de altos costos de inversión, operación y mantenimiento, así como mano de obra calificada. Sin embargo, se trata de una tecnología demostrada y disponible comercialmente para el tratamiento de residuos peligrosos. De hecho es claramente aceptada como la mejor alternativa disponible para la destrucción de la mayoría de los residuos orgánicos peligrosos; pero todos deben cumplir con la Resolución 0886 de 2004 y 909 de 2008 del Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial o los actos administrativos que los derogue.

### **Ilustración 7 Horno Incinerador Tecniamsa**



Horno Rotatorio

## Objetivos

### Objetivo general

Evaluar la alternativa más adecuada para la disposición final de los residuos generados en el proceso de fitorremediación.

### Objetivos específicos

- Establecer ventajas y desventajas en la efectividad entre la Brassica Nigra y el Guarumo para la fitorremediación de los suelos contaminados con mercurio (Hg) y cianuro (CN).
- Analizar los porcentajes detectados de la concentración de los contaminantes removidos del suelo.
- Analizar las propiedades cambiantes de las plantas una vez a cumplido el ciclo de remediación.

## Metodología

En la metodología se describirán las actividades pertinentes para alcanzar cada uno de los objetivos descritos anteriormente, el (los) encargado (s) de cada actividad (en paréntesis), los resultados esperados de cada actividad y el producto final del objetivo analizado.

1. Establecer bases bibliográficas.

### **Actividades:**

- a) Revisión de bibliografía en las bases de datos disponibles en la plataforma virtual de la Universidad de Medellín, la Universidad La Sallista y la Universidad de Antioquia, para el posterior uso de estas como apoyo para el análisis de los protocolos y ensayos realizados siguientes. (Eliana López Corrales)

### **Resultados esperados:**

- Documentos guías que sirvan de apoyo a lo largo de la investigación y desarrollo del proyecto de investigación.

### **Producto final:**

- Generación la suficiente solvencia en el tema, donde se halla filtrado la información por temas, subtemas y grado de importancia.

2. Identificar la efectividad del tratamiento de semillas, plántulas, contaminantes (Hg y CN) y medios.(b)

### **Resultados esperados:**

- Identificar el mejor procedimiento para el tratamiento de semillas, plántulas, contaminantes.

3. Evaluar los protocolos de medición de contaminantes (Hg y CN) para suelo y plantas (hojas, tallos y raíces).

**Actividades:**

- c) Análisis de los procedimientos estipulados por las normas técnicas colombiana (NTC) para la medición de contaminantes (Hg y CN) para suelo y plantas (hojas, tallos y raíces), y compararlos con los mecanismos utilizados en la Bibliografía (Eliana López)

**Resultados esperados:**

- Observar un modelo de recreación en terrenos definidos para la fitorremediación y los métodos identificados durante el análisis comparativo de la bibliografía y las normas técnicas Colombiana
4. Identificar la máxima capacidad de acumulación de mercurio (Hg) en las plantas a investigar como posible opción de remediación

**Actividades:**

- d) Analizar comparativamente los datos registrados por la bibliografía en cuanto a la remoción de mercurio, según el suelo utilizado para sus ensayos
5. Evaluar el mecanismo de fitorremediación de cianuro (CN) en las plantas

**Actividades:**

- e) Analizar comparativamente los datos registrados por la bibliografía en cuanto a la remoción de cianuro, según el suelo utilizado para sus ensayos.

6. Una vez identificada la mejor técnica de fitorremediación, estructurar una alternativa de disposición para el material resultante.

**Actividad:**

- h) Identificar las características del material resultante por medio de la bibliografía.

**Resultados esperados:**

- Plantear una alternativa para disponerlo adecuadamente y cerrar el ciclo de remediación

## Resultados

Como se indicó en la metodología se realizó la investigación en bases de datos consultando los avances con la metodología de fitorremediación, basándonos en la tesis de investigación de los estudiantes de la Universidad de Medellín, su técnica se basó en realizar dos ensayos donde las semillas de Brassica nigra se pusieron a germinar en dos sistemas, uno de ellos en suelo dopado a diferentes concentraciones del metal pesado y se denominó Germinación. (Arena Moya & Hernandez Caro, 2012)

El otro sistema fue en Turba, exenta de contaminantes, luego de la germinación de las semillas aproximadamente a los 28 días. Fueron trasplantados a los suelos dopados a diferentes concentraciones y se denominó Trasplante. (Arena Moya & Hernandez Caro, 2012)

De ahí que para los dos metales pesados evaluados surgen tres sistemas a analizar:

**Germinación:** Que pasa con las semillas que germinan en medio contaminado comparado con un blanco

**Trasplante:** que pasa con las semillas que germinan en medio óptimo, luego de ser trasplantadas a medio contaminado

**Suelo:** Que cantidad de tóxico no es absorbido por la plántula.

Así que para los tres sistemas se realizó un seguimiento de las plántulas en función de la biomasa (longitud de la raíz y peso de material) y de la absorción de los dos metales evaluados.

Las concentraciones de mercurio y cianuro evaluadas en las investigaciones de fitorremediación de suelos contaminados con metales, afectan notoriamente la germinación de las semillas de las plántulas, durante el desarrollo de investigación se recopiló mayor información sobre el proceso desarrollado con la Brassica nigra, en los documentos relacionados

de detecto que el porcentaje de reducción en la germinación es de aproximadamente el 50%, para ambos contaminantes. (Arena Moya & Hernandez Caro, 2012)

El peso de material, que desarrollan las plántulas de *Brassica nigra*, las dosis altas de mercurio afectan hasta en un 50% el desarrollo de peso en las plántulas de Germinación, sin embargo, ninguna dosis evaluada afecta el desarrollo de peso de las plántulas de Trasplante. (Arena Moya & Hernandez Caro, 2012)

En cuanto a los avances metodológicos con el guarumo, se identificó que las tasas de remoción de Hg en suelo estuvieron entre 15.7% y 33.7 % de efectividad, en cuatro meses de crecimiento de la planta, lo que implica que esta especie tiene una significativa capacidad para ser empleada en fitorremediación de suelos contaminados. Al igual que en la acumulación del contaminante en tejidos, las variables de mayor influencia en las tasas de remoción del suelo son el tiempo de tratamiento y el grado de contaminación del suelo; también cabe destacar que el ácido cítrico no contribuye a una mayor acumulación en tejidos ni remoción de Mercurio (Hg) del suelo contaminado

Determinando entonces, que las plantas una vez retiradas conservan en sus tejidos y raíces contenidos de mercurio y cianuro, en proporción a su capacidad de absorción, debe ser entonces considerado un residuo peligroso el cual debe tener un manejo de acuerdo a la legislación. Su disposición se deberá ejecutar en celdas de seguridad con un pretatamiento de encapsulamiento, este por los contenidos de metales que no se deben generar la oportunidad de liberar el contaminante nuevamente al suelo por la degradación de la planta.

El guarumo siendo una planta arbórea ha registrado dentro de los estudios realizados una remoción de material significativa en sus raíces, hojas y tallo, utilizando técnicas de germinación insitu de la planta en las cuales en análisis de laboratorio reporta una buena remoción del

mercurio. Por otro lado la Brassica nigra reporta porcentajes similares de remoción al guarumo en su técnica de germinación insitu, pero cuando se genera una germinación en suelo de vivero y se trasplanta se reporta remoción hasta de un 40% mas, contando que esta última es considerada como “maleza” por su estructura y fenotipo de planta, permite una manipulación de extracción más fácil y manual, interrumpiendo menos el proceso de evolución del suelo.

Además, el guarumo sin ser considerada una planta hiperacumuladora reporto índices de concentración del material en estudio, muy cercanos los reportados por la brassica sembrada insitu, la cual si es una planta caracterizada por ser una especie hiperacumuladora de metales, Sin embargo cabe anotar que la brassica presenta menor biomasa que el guarumo y es una planta con un potencial de adaptabilidad a las condiciones de las variables zonas, por lo tanto hay una ventaja significativa frente a la planta mas optima para realizar técnicas de bioremediación, garantizando altos porcentajes de remoción aplicando una técnica diferenciada de aplicación como lo es el trasplante y por su baja biomasa permite una manipulación y disposición final cerrando el ciclo de vida de los metales biodisponibles en el ambiente.

## Bibliografía

Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). *Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos. Bases Conceptuales*. Bogota D.C.

Agudelo Betancur, L. M., Macias Mazol, K. I., & Suárez Mendoza, A. J. (2005). Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. *Revista lasallista de investigacion* , 2, 57-60.

Arena Moya, S., & Hernandez Caro, S. A. (2012). *Fitotoxicidad Del Cadmio (Cd) Y El Mercurio (Hg) En La Especie Brassica Nigra*. Medellín: Universidad de Medellín.

Bharagava RN, C. R. (2010). Phytoextraction of trace elements and physiological changes in Indian mustard plants (*Brassica nigra* L.) Grown in post methanated distillery effluent (PMDE) irrigated soil. *Bioresourse technology* .

Carpena, R., & Bernal, M. P. (2007). Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Ecosistemas* , 16 (2).

Corporación Autónoma Regional del Cauca. (2007). *Apoyo a proyectos de producción más limpia en minería para los distritos mineros del Cauca*. popayan: Corporación Autónoma Regional del Cauca.

El Ministerio del Medio Ambiente. (1994). *Resolución 189 De 1994 Por la cual se dictan regulaciones para impedir la introducción al territorio nacional de residuos peligrosos*. Santa Fe de Bogotá D.C., : El Ministerio del Medio Ambiente.

(2001). *Fichas Internacionales de Seguridad Química*.

Han, f. X., Sridhar, B. B., Monts, D. L., & Su, Y. (2004). Phytoavailability and Toxicity af Trivalent and Hexavalent chromium to *Brassica Juncea*. *New Phytologist* , 162, 189-199.

M.P. Bernal, R. C. (2007). Aplicación de fitorremediación a los suelos contaminados por metales pesados Aznalcóllar. *Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente* , 67-76.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2005). *DECRETO 4741 DE 2005 " por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral."*. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). Manejo de Mercurio en la Minería de oro. En *Resultados y Experiencias Exitosas de Proyectos Relacionados con el Manejo de Mercurio en la Minería de Oro en Colombia con Fines Preventivos*. Bogota: Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Montoya, U. H. (2006). *Diagnóstico para la implementación de sistemas de gestión ambiental en el distrito minero Segovia-Remedios*. Medellín: s.n.

Morales Fierro, J. (04 de noviembre de 2011). *Conflictos Mineros*. Recuperado el 16 de 2 de 2014, de <http://www.conflictosmineros.net/contenidos/10-colombia/8818-la-mineria-en-colombia-aportes-para-la-discusion-de-impactos-ambientales-sociales-y-economicos>

Navarro-Aviñó, J., Alonso, I. A., & López-Moya, J. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas* .

Ortega Ortiz, H., Benavides Mendoza, A., Alonso Arteaga, R., & Zermeño González, A. (s.f.). *Fitorremediación De Suelos Contaminados Con Metales Pesados*. Recuperado el 26 de Marzo de 2013, de [http://abenmen.com/a/Nutricion\\_Vegetal-4.pdf](http://abenmen.com/a/Nutricion_Vegetal-4.pdf)

*Pagina Web del municipio de Segovia*. (s.f.). Recuperado el 15 de Abril de 2013, de <http://www.segovia-antioquia.gov.co>

Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana, C., & Campos, A. (2006). Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera: Heavy metals pollution in soils damaged by mining industry. *Ecología aplicada* , 5, p.149-155.

Ramírez V, A. (Marzo de 2010). *Toxicidad del cianuro. Investigación bibliográfica de sus efectos en animales y en el hombre*. Recuperado el 11 de Enero de 2014, de Scielo: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1025-55832010000100011#tab01](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-55832010000100011#tab01)

Ronderos, M. T. (6 de septiembre de 2011). *La fiebre minera se apodó de colombia*. Recuperado el 5 de Abril de 2013, de <http://www.semana.com/nacion/articulo/la-fiebre-minera-apodero-colombia/246055-3>

Samiotakis M, E. S. (2004 Vol. 127). Posible evidencia para el transporte de un complejo de cianuro de hierro por las plantas. *Contaminación Ambiental* , 169-173.

Shiyad, S., Chen, J., Han, F. X., Gu, M., Su, Y., & Matta, D. L. (2009). La fitotoxicidad de mercurio en la mostaza india ( *Brassica juncea* L.). *ecotoxicología y Seguridad Ambiental* V.72 , 619-625.

Subdirección De Planeación Minera. . (2007). *Producción Más Limpia En La Minería Del Oro En Colombia*. Bogotá: Subdirección De Planeación Minera. .

Vidal Durango, j. V., Marrugo Negrete, J. L., Jaramillo Colorado, B., & Perez Castro, L. M. (2010). Remediación de Suelos Contaminados con Mercurio Utilizando Guarumo (*cecropia peltata*). *Ingeniería & Desarrollo* , 27, 113-129.

Weinberg, J. (2007). Introducción a la Contaminación por Mercurio para las OMG.