



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Procesos de degradación de suelos asociados a minería aurífera a cielo abierto, caso de estudio Bajo Cauca Antioqueño

Rubén Darío David Giraldo

Universidad Nacional de Colombia
Facultad, de Ciencias Exactas y Naturales
Medellín, Colombia
2017

Procesos de degradación de suelos asociados a minería aurífera a cielo abierto, caso de estudio Bajo Cauca Antioqueño

Rubén Darío David Giraldo

Trabajo académico presentado como requisito de grado para optar al título de:

Magister en Geomorfología y Suelos

Directora:

Doctora en Agroecología Magnolia del Pilar Cano Ortiz

Línea de Investigación:

Manejo y conservación de suelos, manejo de zonas degradadas

Universidad Nacional de Colombia

Facultad Ciencias Exactas y Naturales

Medellín, Colombia

2017

Dedicatoria

A mis fieles compañeros (as): José Salomón David, María Amantina Giraldo, Julieht Montoya y Melissa David Montoya (mis padres, esposa e hija).

¡Gracias por estar conmigo y creer en mí!

Agradecimientos

A la empresa MINEROS SA, ya que a través del departamento de manejo ambiental me permitió entrar a sus parcelas y me brindó toda la logística para conocer el proceso de extracción de oro y el manejo de las parcelas de recuperación ambiental en los suelos posmineros.

- A la “*Asociación Juventud Viva Agroempresarial del Bajo Cauca (ASJUVABC)*”, los cuales me acompañaron en el proceso de muestreos en los municipios de la zona; su experiencia, voluntad, conocimiento de la zona y acceso a esta, fueron vitales para el desarrollo de este trabajo.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA sede de Medellín, en cabeza de los docentes que me acompañaron con su asesoría y orientación académica:

- Magnolia del Pilar Cano Ortiz, docente Ciencias Agrarias. ¡Su acompañamiento fue vital!
- Raúl Darío Zapata, docente química de Suelos.
- Nelson Walter Osorio, docente manejo de la fertilidad del suelo.
- Juan Carlos Loaiza Úsuga, docente génesis y clasificación de suelos.
- Juan Carlos Pérez, docente microbiología del suelo.
- Juan Diego León Peláez, docente Ciencias Forestales.
- Dora María Gallego, bibliotecóloga, formadora en bases de datos y gestores bibliográficos, biblioteca Efe Gómez.
- Orlando Simón Ruiz, director laboratorio de suelos y director Escuela de Geociencias.

Resumen

La minería aurífera a cielo abierto es una labor que se realiza con frecuencia en Colombia y genera empleos e ingresos para numerosas personas. Sin embargo, esta se caracteriza por causar afectaciones y pérdida de recursos naturales, como ocurre en la zona del Bajo Cauca de Antioquia Colombia, en la que esta actividad es la primera en generación de empleo e ingresos, sin embargo, está asociada a procesos de degradación de suelos, afectación de cuerpos de agua e impactos ambientales.

En este estudio se diagnosticaron las actividades realizadas en el proceso de extracción aurífera, se analizó el estado de los suelos posmineros y se determinaron las actividades de rehabilitación y fitorremediación empleadas. Mediante visitas de campo se consultó a los responsables de la extracción, se observó el estado de los suelos y se realizaron algunas mediciones y descripciones, lo cual permitió conocer de primera mano la degradación de suelos y deterioro ambiental, así mismo se pudo determinar conocer los retos y oportunidades que tiene por delante la subregión para su rehabilitación. Por otro lado, se conoció el potencial que presentan estos suelos posmineros debido a las condiciones climáticas de la zona, lo cual además de contribuir con la mitigación de los daños ambientales, podría generar desarrollo y bienestar a la región.

Palabras clave: suelos posmineros, rehabilitación, fitorremediación, mitigación ambiental

Abstract

Open-pit gold mining is a work often done in Colombia generating jobs and income for many people. However, this one contributes to cause damage that can lead to loss of natural resources as occurs in the area of Bajo Cauca of Antioquia, Colombia, in which this

activity is the first source of income and employment, nevertheless, it is associated with processes of soil degradation, affectation of water bodies and environmental impacts.

In this study there were diagnosed the activities carried out in the process of gold extraction, discussed the status of the post-mining soils and identified the activities of rehabilitation and phytoremediation employed. Through field visits, people responsible for the extraction were consulted, observed the state of soils, and some measurements and descriptions were carried out making possible to know, by first hand, the soil degradation and environmental deterioration, likewise, it was possible to know about the challenges and opportunities that the sub region has ahead for its rehabilitation. On the other hand, the potential presented by these post-mining soils was known due to the climatic conditions of the zone, which besides contributing with the mitigation of the environmental damage, might generate development and well-being to the region.

Keywords: post-mining soils, rehabilitation, phytoremediation, environmental mitigation.

Contenido

	Pág.
1. Objetivos.....	5
1.1 Objetivo principal.....	5
1.2 Objetivos específicos	5
2. Antecedentes.....	7
2.1 Proceso histórico de la extracción aurífera en Colombia	7
2.1.1 Periodo precolombino.....	7
2.1.2 Periodo de la conquista	7
2.1.3 Periodo de la Colonia	7
2.1.4 Periodo de la independencia.....	8
2.1.5 Minería en el siglo XX.....	8
2.1.6 Minería en el periodo en el siglo XXI.....	9
2.2 Situación actual de la minería en el Bajo Cauca Antioqueño.....	9
2.2.1 Panorama actual de la explotación aurífera del bajo Cauca	9
2.2.2 Sistemas de extracción actual de oro en el Bajo Cauca Antioqueño:.....	10
3. Marco teórico.....	13
3.1 Tipos de minería aurífera en Colombia.....	13
3.1.1 Minería de aluvión	13
3.1.2 Minería de Coluvión.....	14
3.1.3 Minería de filón, socavón o minería subterránea.....	14
3.2 Categorías según las técnicas de extracción aurífera en Colombia.....	15

3.3	Términos para la designación de la minería según la normatividad Colombiana	18
3.4	Procesos de degradación de suelos e impactos ambientales ocasionados por la minería aurífera	19
3.5	Actividades que se realizan en el proceso de extracción aurífera	21
3.5.1	Minería aurífera artesanal aluvial	21
3.5.2	Minería a pequeña escala	22
3.5.3	Minería a mediana escala	23
3.5.4	Minería a gran escala	23
3.6	Características del suelo posterior a la extracción aurífera	23
3.6.1	Minería a cielo abierto	24
3.6.2	Minería de Socavón	24
3.7	Actividades de rehabilitación y/o fitorremediación realizadas en áreas de extracción aurífera.....	25
3.7.1	Actividades de rehabilitación	25
3.7.2	Actividades de fitorremediación	26
4.	Materiales y Métodos.....	31
4.1	Localización	31
4.2	Sitios de evaluación y muestreo.....	32
4.2.1	Primera fase.....	34
4.2.2	Segunda fase	40
4.3	Actividades realizadas en el proceso de extracción de oro en la subregión del Bajo Cauca antioqueño:	42
4.3.1	Primera fase.....	42
4.3.2	Segunda fase	43
4.4	Descripción del estado del suelo posterior a la extracción aurífera	43
4.4.1	Calicatas	43
4.5	Actividades de rehabilitación o fitorremediación realizadas en los sitios de extracción aurífera considerados en el estudio.....	45
4.5.1	Actividades de rehabilitación después de la extracción aurífera	45

4.5.2	Actividades de fitorremediación después de la extracción aurífera	46
5.	Resultados y discusión	47
5.1	Primera fase.....	47
5.1.1	Actividades realizadas en el proceso de extracción de oro en la región del Bajo Cauca Antioqueño.....	47
5.1.2	Estado del suelo posterior a la extracción aurífera de la minería en la región del Bajo Cauca Antioqueño (Estado del suelo posminero ESP).....	57
5.1.3	Actividades de rehabilitación o fitorremediación realizadas en áreas de extracción aurífera en la minería artesanal, pequeña, mediana y gran minería	59
5.2	Segunda Fase.....	60
5.2.1	Actividades realizadas en el proceso de extracción formal de oro en la región del Bajo Cauca Antioqueño:	60
5.2.2	Estado como queda el suelo posterior a la extracción aurífera de la minería a gran escala formal, en la región del Bajo Cauca Antioqueño.....	66
5.2.3	Actividades de rehabilitación y/o fitorremediación realizadas en áreas de extracción aurífera de la minería a gran escala formal, en la región del Bajo Cauca Antioqueño.....	68
6.	Conclusiones.....	79
6.1	Actividades realizadas en el proceso de extracción de oro en la subregión del Bajo Cauca antioqueño.....	79
6.2	Descripción del estado del suelo posterior a la extracción aurífera	79
6.3	Actividades de rehabilitación o fitorremediación realizadas en los sitios de extracción aurífera considerados en el estudio	80
7.	Recomendaciones.....	83
	Bibliografía.....	83

Lista de figuras

	Pág.
Figura 4-1: Ubicación de la subregión del Bajo Cauca Antioqueño indicando la vocación y el uso del suelo.	31
Figura 4-2: Muestreo de suelos mediante calicatas o cajuelas y barrenadas.	33
Figura 4-3: Río Anorí, vereda Cruces (Anorí, Antioquia).	39
Figura 4-4: Calicata o cajuela en suelo posminero a gran escala.	41
Figura 4-5: Determinación de textura del suelo al tacto.	44
Figura 4-6: Determinación en campo de la estructura del suelo.	44
Figura 4-7: Fitorremediación de suelos en el Bajo Cauca.	46
Figura 5-1: Técnica de extracción de oro en el Bajo Cauca Antioqueño en la minería artesanal. A. Equipo artesanal de extracción de oro aluvial, compuesto por zaranda y canoa. B. Cárcava para explorar minería coluvial. C. Barequero extrayendo manualmente material entre rocas.	48
Figura 5-2: Esquema de actividades que se realizan en el proceso de extracción en la minería aurífera a cielo abierto. A. Minería artesanal. B. Pequeña y mediana escala.	49
Figura 5-3: Minería a pequeña y mediana escala de tipo aluvial y coluvial realizada en la subregión del Bajo Cauca Antioqueño. A. Pequeña minería aluvial; B. Pequeña minería coluvial; C. Tolvas mecanizadas para facilitar la precipitación del oro por gravedad.	50
Figura 5-4: Remoción de material y extracción de oro coluvio-aluvial; A: Maquinaria removiendo material; B: Trabajadero por minería artesanal.	53

Figura 5-5: Minería artesanal y pequeña escala, asociadas a minería a gran escala informal. (Zaragoza, Antioquia).	54
Figura 5-6: Zona de antigua minería. (Caucasia Antioquia).	55
Figura 5-7: herramientas simples de uso común en minería artesanal y pequeña minería. A. Batea empleada para extracción de oro en minería artesanal; B. Pala empleada para minería artesanal; C. Polvo de oro extraído por minería artesanal	55
Figura 5-8: draga artesanal de pequeña minería. (Anorí Antioquia).	55
Figura 5-9: Extracción de materiales con maquinaria en mediana y gran minería.	56
Figura 5-10: Materiales posmineros salidos de diferentes tipos de minería. A. Material de minería, grueso y suelto; B. Material arenoso de suelo posminero; C. Material franco, terroso, de mezcla de materiales posmineros; D. Depósitos de material posminero lavado.	57
Figura 5-11: Suelos posmineros convertidos en montículos de materiales sin estructura y excavaciones de minería mediana y a gran escala. A: Montículo de material lavado por minería mediana a gran escala; B. Excavación para extraer material de mina por minería mediana a gran escala; C. Montículos de materiales posmineros sin estructura.	58
Figura 5-12: actividades de remediación con plantas en suelos posmineros. A. Siembra de yuca en suelos posmineros; B. Siembra de pastos en suelos posmineros.	59
Figura 5-13: Zona posminera en abandono, con colonización natural de especies vegetales.	60
Figura 5-14: Minería informal a gran escala. Vereda la Ye. (Zaragoza Antioquia).	61
Figura 5-15: Esquema de actividades prevalentes que se realizan en la minería aurífera a cielo abierto a gran escala.	62
Figura 5-16: vetas de oro en minería subterránea. A. Veta o filo de oro al interior de la roca, 300 m de profundidad desde la superficie; B. Veta o filo de oro donde se aprecia el metal precioso la visita.	64

- Figura 5-17:** piscina de residuos industriales de la molienda de la roca en minería aurífera subterránea..... 64
- Figura 5-18:** Equipos de dragado de alto grado tecnológico, en minería aluvial a cielo abierto. A. Dragón para romper suelo y eliminar material vegetal del suelo; B. Brazo de draga industrial; C. Draga industrial de cucharas para extracción aurífera aluvial a profundidad..... 66
- Figura 5-19:** Material del proceso industrial de minería a cielo abierto formal a gran escala. A. Material industrial posminero, denominado carguero; B. Material industrial posminero, denominado relleno hidráulico. 67
- Figura 5-20:** Adecuación de suelos posmineros y siembra de cobertura rastrera. (Nechi Antioquia). A. Perfilado de materiales posmineros en minería formal a gran escala. B. Cobertura vegetal de suelos posmineros con cudzu. 69
- Figura 5-21:** Especies arbóreas y forestales empleadas para fitorremediación de suelos posmineros. A. Remediación de suelos con *Acacia mangium*; B. Remediación de suelos con *Jatropha curcas*; C. remediación de suelos con *Hevea brasiliensis*..... 69
- Figura 5-22:** Labores de restauración en parcelas posmineras. A. Vivienda construida en parcela de recuperación o restauración; B. Agricultura en parcela de restauración posminera. 70
- Figura 5-23:** Rescate de fauna silvestre para liberarla en zonas sin intervención o en proceso de restauración. A. Oso perezoso rescatado en la operación minera; B. Erizo rescatado en operación minera; C. Caimán o babilla rescatado en operación minera..... 71
- Figura 5-24:** Aporte de materia orgánica y actividad de descomponedores de la misma. Parcela de 15 años en recuperación. A. Hongos descomponedores de la materia orgánica, parcela de 15 años de recuperación; B. Hongos descomponedores de la materia orgánica, parcela..... 72
- Figura 5-25:** Crono-secuencia de rehabilitación de suelos posmineros mediante fitorremediación. (El Bagre Antioquia). A: Parcela de un año de recuperación; B. Parcela de dos años de recuperación; C. Parcela de tres años de recuperación; D. Parcela de cinco

años de recuperación; E. Parcela de siete años de recuperación y F. Parcela de quince años de recuperación..... 74

Figura 5-26: Parcela de 15 años de recuperación con fitorremediación. A: parcela de 15 años de recuperación; B. Suelo o tecnosuelo en parcela de 15 años de recuperación.**¡Error! Marcador no definido.**

Lista de tablas

Pág.

Tabla 5-1: Características de los sitios considerados en el diagnóstico para evaluar las actividades realizadas en el proceso de extracción informal de oro en la región del Bajo Cauca Antioqueño	51
Tabla 5-2: Características de los sitios considerados en el diagnóstico para evaluar las actividades realizadas en el proceso de extracción formal de oro en la región del Bajo Cauca Antioqueño	65
Tabla 5-3: Composición nutricional de los suelos en las algunas parcelas en recuperación, de la extracción formal de oro en la región del Bajo Cauca Antioqueño.....	71
Tabla 5-4: Contenidos nutricionales de algunas fuentes de agua cernadas a las parcelas de recuperación	77

Introducción

La subregión del Bajo Cauca Antioqueño, ubicada en el Nororiente del departamento de Antioquia Colombia, entre las serranías de San Lucas y Ayapel, es una de las nueve aéreas en las que se divide este departamento, ocupa una extensión de 8.485 km², conformada por los municipios de Tarazá, Cáceres, Caucasia, El Bagre y Nechí, la bañan los ríos Cauca y Nechí. Su geomorfología corresponde a planicies y pequeñas montañas que ofrecen climas cálidos y templados, aptos para la piscicultura, ganadería y su agricultura, no obstante el primer renglón su economía lo ocupa la minería de extracción de oro, una tradición desde el periodo precolombino con predominio de la minería informal de tipo artesanal, pequeña y mediana minería a cielo abierto y en menor proporción la minería subterránea.

En los últimos años se acuñó el término “minería ilegal” para hacer alusión a nuevos integrantes mineros, ya que una fracción de los grupos al margen de la ley incursionaron en la región, no solo para controlar el proceso de extracción del metal informalmente, sino mediante el control territorial.

Junto al auge o fiebre del oro, la región se vio inmiscuida en una problemática social y de salud pública por problemas conexos como el incremento de la prostitución, drogadicción, diseminación de enfermedades infectocontagiosas, además de crear una cultura de sobrevivencia alrededor de la minería, debido a que la mayoría de mineros viven “el día a día” y no se interesan por los efectos adversos que deja la minería, que trae consigo además de pobreza, impactos ambientales que afectan directamente al ecosistema y a la salud humana.

Entre los principales riesgos para la salud asociados con la minería informal se han reportado la silicosis, efectos del ruido y vibración, ventilación deficiente (calor, humedad, falta de oxígeno), esfuerzo excesivo, espacios reducidos, equipos inadecuados, riesgo con equipos y maquinaria y exposición a elementos contaminantes como mercurio y cianuro, usados para la amalgamación que generan condiciones de alto riesgo ocupacional y

prácticas ambientales dañinas para el ecosistema y la población. Ya que estos se ven expuestos a la inhalación del vapor de mercurio que se libera durante la quema de las amalgamas que según la organización mundial de salud (OMS) conlleva el riesgo de padecer hidrargirismo, alteraciones funcionales como déficit orgánico, neurológico, cognitivo y psicológico, manifestación clínica que se conoce como “enfermedad de Minamata”, que puede causar múltiples efectos deletéreos de la salud. El metilmercurio en las aguas alcanza peces, fauna y flora y es bioacumulado por organismos acuáticos y biomagnificado a través de las cadenas tróficas, absorbido a través del sistema digestivo de animales, incluyendo a los humanos.

Entre las consecuencias ambientales de la extracción del oro, se han encontrado procesos de fragmentación de bosques, alteración del paisaje, pérdida de la capa vegetal, afectación de corredores biológicos, pérdida de servicios ecosistémicos, reducción de biodiversidad, alteración de microlimas, degradación y erosión de suelos, afectación de lechos de ríos y cuerpos de agua por desviación de cauces y depósitos de sedimentos producto de la actividad minera. Además, la contaminación de suelos y agua con los elementos potencialmente tóxicos, haciendo que el uso del suelo y aguas en la etapa posterior a la extracción del oro, quede restringido y demandando remediación.

En el estudio se pretendió hacer un diagnóstico de los procesos de degradación de suelos e impactos ambientales ocasionados por la minería aurífera en el Bajo Cauca Antioqueño, mediante la identificación de las actividades realizadas en el proceso de extracción del oro, la descripción del estado en el que queda el suelo posterior a la extracción aurífera y la determinación de las actividades de rehabilitación o fitorremediación realizadas en áreas degradadas por esta actividad minera.

En los recorridos se pudo conocer en vivo, la extracción aurífera, y visibilizar las consecuencias de esta en el suelo y en el medio ambiente en general, ya que cambia el paisaje al remover por completo los horizontes del suelo y someterlos a lavados severos, dando como resultado pérdida de la estructura del suelo y desertización de zonas. No obstante los daños que genera, se conoció que es una actividad de importancia en la zona por la generación de empleo e ingresos para miles de familias que tienen en esta su principal actividad económica. Por otro lado, pese a las condiciones en las que queda el material resultante, se encontró que con un manejo estricto que incluya la siembra de especies vegetales para fitorremediación de condiciones físicas, químicas, biológicas y

orgánicas, se puede lograr estabilizar dichos sustratos, restablecer los ciclos biogeoquímicos de algunos nutrientes, devolverle funciones ecológicas a las zonas y además se puede convertir en alternativas de ingresos diferentes a la minería para la comunidad, dándole así posibilidades de rehabilitación y aprovechamiento a estas áreas degradadas.

Entre las limitaciones con las que se encontró para la realización del estudio, fueron el acceso a las zonas, ya que algunos sitios mineros estaban distantes de los cascos urbanos y/o no eran carreteables, en otros no se contó con libertad plena para realizar la labor, ya que las visitas podían causar molestias a las personas responsables de la extracción en la informalidad, por consiguiente no se tuvo acceso a todos los sitios y/o tipos de minería, en otros casos no se pudo hacer mediciones, ni tomar registro fotográfico, o hablar con las personas a cargo. Por último, otra dificultad con las que se encontró fue la falta de recursos económicos, ya que el trabajo no fue financiado, presentándose numerosas limitaciones no solo para resolver el tema logístico, si no para cubrir los costos de algunos análisis de laboratorio.

Para el desarrollo de la metodología, se procedió en dos fases, en la primera se pretendió conocer y diagnosticar la minería informal artesanal, pequeña, mediana y a gran escala en los cinco municipios que componen la subregión y dos municipios cercanos: Zaragoza y Anorí. En estos se hicieron visitas guiadas por habitantes de la zona, miembros de una asociación denominada la “*Asociación Juventud Viva Agroempresarial del Bajo Cauca (ASJUVABC)*”, que tienen experiencia en la labor minera y amplio conocimiento de la zona.

En cada municipio se visitaron cuatro sitios, a excepción de Anorí donde se visitaron cinco, para un total de 29, en cada uno de ellos se determinaron mediante observación, consultas y/o mediciones, varios aspectos a saber: el tipo de explotación minera (artesanal, pequeña, mediana y minería a gran escala); grado de tecnificación (herramientas, equipos o maquinaria empleadas), labores de remediación, sitio de beneficio, estatus legal (con o sin permiso), número de personas vinculadas a la unidad productiva, uso de elementos contaminantes y en algunos de los lugares se tomaron muestras según la metodología recomendada por el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Colombia, sede de Medellín, y se realizaron calicatas o cajuelas de 50cm por cada lado (longitud, ancho y profundo), las cuales quedaron de 0.125 metros cúbicos, en cada una de ellas se

determinaron propiedades del suelo como: textura, estructura y formación de horizontes edafológicos y donde fue posible, también se realizaron muestreos de suelos con barreno.

En la segunda fase se pretendió conocer la minería aurífera formal a gran escala que se realiza en los municipios de la zona, aunque el estudio se concentró en los municipios de El Bagre y Zaragoza, donde fue posible conocer la operación realizada por la empresa Mineros S.A., quien además de permitir la entrada a sus predios, aportó el apoyo logístico y un equipo técnico para acompañar el mismo y explicar las actividades que se realizaban en la operación. El conocimiento de la minería a gran escala a su vez se dividió en dos: la minería aurífera aluvial a cielo abierto en el municipio de El Bagre desde el año 2014 al 2017, donde la empresa anfitriona tenía esa operación concentrada, y dos visitas al municipio de Zaragoza en los años 2015 y 2017, donde la empresa tenía la operación subterránea.

En cuanto a las aplicaciones y significado del estudio en el área, este permitió diagnosticar los procesos de degradación de suelos e impactos ambientales ocasionados por la minería aurífera en esa zona del país, pero a su vez permitió vislumbrar alternativas de manejo de esos suelos, los cuales con un programa técnico adecuado y políticas estatales fuertes, se podrían convertir en oportunidades de ingresos y desarrollo para las comunidades que habitan las zonas con esa problemática, de aquí que el daño que se le ha hecho a los suelos y al medio ambiente en general, podría encontrar su remedio en ella misma, con la ayuda antrópica.

1.Objetivos

1.1 Objetivo principal

Diagnosticar los procesos de degradación de suelos e impactos ambientales ocasionados por la minería aurífera en el Bajo Cauca Antioqueño.

1.2 Objetivos específicos

- Identificar las actividades realizadas en el proceso de extracción de oro en la zona de estudio.
- Describir estado en los que queda el suelo posterior a la extracción aurífera.
- Determinar las actividades de rehabilitación o fitorremediación realizadas en áreas de extracción aurífera.

2. Antecedentes

2.1 Proceso histórico de la extracción aurífera en Colombia

2.1.1 Periodo precolombino

En esta época el oro carecía de valor económico porque las comunidades ancestrales lo obtenían en forma artesanal con implementos simples como bateas de los lechos y lo transformaban en recipientes, imágenes y adornos y lo utilizaban en diferentes rituales, trueque incluso los incluían en ritos funerarios (Campuzano-Cuartas, 2011; Langebaek, 1985).

2.1.2 Periodo de la conquista

Con la llegada de los conquistadores españoles a comienzos del siglo XVI, el oro despertó su interés ya que representaba un objeto de alto valor económico como metal precioso y para acuñar monedas lo que motivo el despojo del oro a los aborígenes para enviarlo a España (Campuzano-Cuartas, 2011). En este periodo esclavizaron indígenas para la extracción aurífera y cuando la mano de obra escaseó, incorporaron esclavos africanos para la labor minera. La tecnología empleada para la extracción en la época era incipiente, pero incluyeron algunas herramientas de hierro y pólvora negra (Guiza, 2010; Poveda, 2002)

2.1.3 Periodo de la Colonia

Los gobiernos de la colonia trajeron la legislación minera que regía en España desde la edad media y la impusieron en los territorios conquistados de América. En esta época se continuó con la extracción artesanal utilizando la "batea" o "cuna". Algunas minas eran propiedad del rey de España y en otros casos los aborígenes extraían el oro pero debían

tributar al gobierno virreinal un 20% de la producción, tributo conocido como "el quinto real", durante este periodo se dieron cambios importantes, en el proceso de extracción, enfocándose hacia la minería de socavón ya que la corona española envió ingenieros ingleses y alemanes para mejorar los procesos, lo que permitió una mejor extracción del oro aluvial y el desarrollo la minería de socavón, además incorporaron conocimientos en mineralogía, hidráulica práctica y promovieron la profesión de ingeniería de minas (Campuzano Cuartas, 2011; Poveda, 2002).

2.1.4 Periodo de la independencia

Según Campuzano (2011) posterior a la conquista española, la herencia de la minería aurífera industrializada se quedó entre las costumbres de la población y durante el siglo XIX el oro fue el principal producto de exportación en la nueva granada; que junto con la plata y el platino atrajeron la inversión extranjera que inyectó capital y nuevas tecnologías como: el molino californiano, amalgamación con mercurio, cianurización (empleo de cianuro), topografía de precisión, turbina pelton, bombas hidráulicas, máquina de vapor, dinamita, draga de ríos, monitor hidráulico, conocimientos de química metalúrgica y otras innovaciones tecnológicas (Poveda, 2002), aunque continuaba la minería artesanal en los lechos de los ríos y la pequeña minería que incorporó algunas tecnologías rudimentarias como dragas artesanales, "barequeo" o motores de chorros de agua para hacer lavados (Guiza, 2010).

2.1.5 Minería en el siglo XX

Desde mediados del siglo XX Colombia presentó un fenómeno de conflicto armado donde inicialmente se establecieron grupos con tendencia de izquierda con una filosofía comunista y socialista, que restringieron la explotación minera a gran escala y controlaban a los medianos y pequeños mineros. Luego también empezaron a explotar los recursos naturales incluyendo el oro, ya fuera en forma directa o mediante el cobro de extorciones y ejerciendo control en sus zonas de influencia (Observatorio de Conflictos Mineros en América Latina, 2016).

A finales del siglo XX surgieron además grupos de autodefensas o de extrema derecha (paramilitares) que posterior a enfrentamientos con los grupos de izquierda, también ejercieron los mismos efectos en las zonas donde se establecieron, mediante el cobro de

impuestos y aportes “voluntarios” de los mineros a cambio de protección y el permitir la labor, llegando finalmente al punto que este tipo de actividades, junto con los cultivos ilícitos, se han convertido en fuentes de financiación y sostenimiento de grupos armados al margen de la ley (Rettberg & Ortiz-Riomalo, 2014; Ronderos, 2011).

2.1.6 Minería en el periodo en el siglo XXI

En los inicios del siglo XXI se dio el proceso de desmovilización de los grupos de la extrema derecha “paramilitares” pero algunos de sus integrantes no entraron a la legalidad y conformaron las bandas criminales llamadas “Bacrim” algunas de las cuales se dedicaron a la minaría ilegal y actualmente se dedican a la extracción de oro con maquinaria pesada, causando alta afectación al ambiente ya que no acatan las normas legales ejerciendo una minería ilegal (Salamanca *et al.*, 2013), pero además en la primera década del siglo XXI después de la negociación del gobierno de turno con los grupos paramilitares, se firmaron numerosos títulos mineros pasando de 1,13 millones de hectáreas tituladas a 8,53 millones de hectáreas y además se duplicó el número de hectáreas tituladas en los páramos, en la actualidad 6.3% de las hectáreas (122 mil) están tituladas o en espera para iniciar la explotación, lo que permite entender la magnitud de la problemática de la minería de oro en el país (Contraloría General de la Nación, 2013; Guiza, 2010).

2.2 Situación actual de la minería en el Bajo Cauca Antioqueño

2.2.1 Panorama actual de la explotación aurífera del bajo Cauca

- **Minería aurífera artesanal y pequeña minería legal e ilegal:** La minería en la subregión del Bajo Cauca Antioqueño se desarrolla de manera indiscriminada principalmente en forma artesanal, informal e ilegal (Defensoría del pueblo Colombia, 2016), en la zona existen unos 1.200 entables mineros que generan aproximadamente 48.000 empleos directos informales (Cifuentes, 2012), no incorporan conocimientos técnicos ni adoptan labores de remediación, ocasionando altos impactos ambientales. Herrera, (2012) afirma que para extraer 17 toneladas de oro se producen 48 millones de toneladas de residuos como gravas, arena y arcillas, y se aplican 108 toneladas de mercurio que contaminan suelos, aire y aguas tanto superficiales como profundas y según Peña, (2013), en la última

década se han deforestado aproximadamente 35.000 hectáreas de bosques nativos en la región.

El desarrollo de la minería en esta subregión es muy complicado ya que confluyen grupos al margen de la ley, con la incertidumbre de extorciones y amenazas, lo que agrava la situación de los mineros establecidos allí (Semana, 2013), además que la actividad minera es utilizada para el lavado de activos, lo que hace aún más complicado el ejercicio de esta actividad (Zapata, 2014).

- **Minería tecnificada formal y legal:** en la subregión del Bajo Cauca Antioqueño se estableció principalmente en los municipios de Zaragoza, el Bagre y Nechí, el principal referente de la gran minería es la empresa Mineros S.A. (antes Mineros de Antioquia), una empresa de capital nacional privado, los principales accionistas son el Grupo Colpatria y el Grupo Aval. Durante el periodo 2009-2012, fue responsable del 6% de la producción nacional de oro (Rudas & Espitia, 2013). La legalidad de sus actividades se respalda en reconocimientos de la propiedad privada desde el periodo colonial. Cerca del 70,6 % de los 51 reconocimientos de propiedad privada que existen en el país son de Mineros S.A. estas empresas aplican y cumplen con las normas mínimas de seguridad, además de estar certificada en los sistemas integrales de gestión ISO 9001, 14001 y 18001 para el uso racional de los recursos naturales y reducir los impactos ambientales de la labor minera (Rozo, 2012).

2.2.2 Sistemas de extracción actual de oro en el Bajo Cauca Antioqueño:

En el Bajo Cauca Antioqueño se encuentran varias técnicas de extracción de oro que varía con el costo de inversión, el grado de tecnificación, el impacto ambiental y de salubridad, y la eficiencia del proceso de extracción, las técnicas más utilizadas:

- **Minería artesanal mediante la batea y separación por gravedad:** Es una minería informal que se realiza en los lechos de ríos y quebradas o en cercanías a la minería mecanizada, realizada por personas individuales o pequeños grupos que generalmente carecen de seguridad social, utilizan para la extracción implementos como bateas y herramientas simples, cuando los gránulos son más gruesos, se utilizan métodos gravimétricos para la extracción (Ministerio de Minas y Energía, 2010).

- **Minería artesanal mediante amalgamación (cianuro o mercurio):** Cuando las partículas de oro son muy finas, se mezclan con materiales de tamaños similares, y para su separación es frecuente el uso de mercurio, el cual genera una amalgama fruto de la unión de las partículas del mercurio con las del oro, y lo separa de otros materiales, luego se somete la amalgama a fuego en un recipiente de barro o de metal, y el aumento de la temperatura hace que se elimine el mercurio por gasificación (Organización Mundial de la Salud -OMS, 2017), aunque hay otros medios de separación diferentes al uso de fuego, como es escurrir la amalgama en una tela porosa, que permita que por los poros se elimine el mercurio y no las partículas de oro (Programa de las naciones unidas para el medio Ambiente, 2008).

- **Minería a cielo abierto con maquinaria pesada:** en la zona del Bajo Cauca Antioqueño, la minería a cielo abierto con maquinaria pesada, es a la que se le atribuye la mayoría de las áreas intervenidas por minería aurífera de manera informal, se estima que más del ochenta por ciento (80%) del área intervenida en minería ha sido por minería a cielo abierto empleando maquinaria pesada (CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CENTRO DE ANTIOQUIA - CORANTIOQUIA, 2005).

- **Minería a cielo abierto con maquinaria pesada y amalgamación del oro:** la minería informal con maquinaria pesada, es quizá la minería que más volumen de mercurio emplea para amalgamar las partículas de tamaño pequeño (como talco), pero el mercurio se emplea de manera indiscriminada y sin los espacios apropiados, lo que causa potenciales riesgos para las personas (Procuraduría General De La Nación, 2010).

- **Minería de socavón artesanal:** Cuando se ubican las betas de oro, las personas intervienen el sitio con martillos, almádanas, cinceles, taladros y ocasionalmente emplean explosivos, sacan el material de las galerías en sacos a un sitio donde inician el proceso de trituración, actividad que generalmente la realizan terceros que tienen sus entables para la molienda denominados “entables o molinos” (GRUPO MINEROS SA, 2014; Quiceno & Escobar, 2011)

- **Minería de socavón tecnificada:** En la región del Bajo Cauca Antioqueño la minería subterránea tecnificada es una minería legal, con títulos formales, emplea personal calificado y todo el personal vinculado esta cobijado con prestaciones de ley, aplica normas de seguridad industrial y se maneja toda la cadena de producción desde la exploración, la extracción, el transporte, el procesamiento de los materiales y la disposición final de los

materiales residuales además realizan labores para resarcir los impactos generados; en el proceso actualmente utilizan cianuro para la recuperación de oro de la molienda de las rocas (GRUPO MINEROS SA, 2014).

3.Marco teórico

La región del Bajo Cauca está situada al Norte del departamento de Antioquia, limita con los departamentos de Córdoba, Sucre y Bolívar. Está conformada por los municipios de Cáceres, Tarazá, Caucaasia, El Bagre y Nechí; la atraviesan los ríos Cauca y Nechí y las principales corrientes hídricas, arroyos, riachuelos y acuíferos que han acumulado en el tiempo cantidades de oro en sus lechos. En esta subregión desde la década de los años setenta se incrementó la búsqueda intensiva de oro en forma artesanal con el uso de bateas y motobombas, que ante la bonanza económica de la actividad minera, motivó el crecimiento de las unidades productivas hacia el uso de maquinaria pesada (volquetas, retroexcavadoras, buldócer,...) para el movimiento y transporte de suelo, así como la utilización de motores de alta potencia para el lavado del material, dando así origen a la a mediana y pequeña escala, como una forma nueva de explotación (Unidad de Planeación Minero Energética -UPME, 2006).

3.1 Tipos de minería aurífera en Colombia

Según Guiza (2013), en Colombia el 72% de las minas son de pequeña escala (cerca de 340.000 colombianos dependen de esta actividad) y la gran minería equivale al 1% de las operaciones. Los criterios para definir las escalas de minería son productividad, extensión del área, número de empleados y en algunas ocasiones capacidad financiera del proyecto productivo (Villa, 2016). En Colombia se conocen los siguientes tipos de minería:

3.1.1 Minería de aluvión

Actividades y operaciones mineras adelantadas en riberas o cauces de los ríos; también se emplean métodos de minería aluvial para la extracción de minerales y materiales en terrazas aluviales (Ministerio de Minas y energía, 2003). En los lechos el oro es liberado en su totalidad de las partículas acompañantes como cuarzo, carbonatos, arcillas, sulfuros

etc. y por su elevada densidad, estabilidad física y química, quedan las laminillas de oro que forman partículas con apariencia de escamas y pepitas o polvo, quedando apto para su recuperación como “oro libre”. Este oro tiene importancia económica y cultural en las comunidades ancestrales y afro-descendientes que han formado el territorio alrededor su explotación en los causes de quebradas, riachuelos y ríos lo que proporciona sustento a las comunidades mediante la minería artesanal, informal (PNUMA – Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y MADS - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2012).

3.1.2 Minería de Coluvión

Según Bates y Jackson (1980) el coluvión es una masa incoherente de materiales sueltos y heterogéneos, de suelo o fragmentos de roca depositados por lavado de la lluvia, reptación o deslizamiento, que se depositan en la base de las laderas. El coluvión es un material derivado de la descomposición de las rocas, que se haya transportado por la fuerza de gravedad. Puede variar en composición desde un conglomerado de bloques sin matriz, hasta una masa de material fino o con solo algunos bloques

En los últimos años la minería ilegal ha incursionado a explotar la minería de aluvión y coluvión con tecnología más avanzada, empleando motobombas de mayor potencia y retroexcavadoras de manera indiscriminada, afectando a los mineros nativos, causando desplazamientos forzados y alterando la dinámica tradicional de la minería artesanal y causando destrucción del medio ambiente.

3.1.3 Minería de filón, socavón o minería subterránea

Según el Ministerio de Minas (2003), es la excavación labrada en la roca con una sola entrada desde la superficie, con baja pendiente y un diseño que permite el libre tránsito de personal y maquinaria y abarca todas las labores destinadas a explotar materias primas por medios técnicos. Además de la extracción y el transporte, comprende las actividades de prospección y exploración, la dotación de infraestructura (conexión a la red vial, construcción de depósitos e instalaciones exteriores tales como oficinas administrativas, talleres, etc.), así como las medidas destinadas a garantizar la seguridad del personal minero. El proceso de trituración consiste en pasar de 3” o 4” a 12 mm, y consiste en

molienda, concentración gravimétrica, amalgamación o cianuración, prensado y destilación de amalgamas, calcinación y fundición de precipitados.

3.2 Categorías según las técnicas de extracción aurífera en Colombia

En la región del Bajo Cauca antioqueño confluyen todos los tipos de explotación minera: subterránea o a cielo abierto, tradicional o tecnificada, formal o informal, legal, ilegal o de hecho; desde la extracción artesanal, pequeña, mediana y gran minería aurífera de aluvión, coluvión o socavón:

- **Minería de superficie o minería a cielo abierto:** es la actividad y operación minera desarrollada en la superficie del suelo (Ministerio de minas y energía 2003). La minería a cielo abierto remueve la capa superficial para hacer accesibles los yacimientos de minerales (Asoc. Ecol. Costarricense - Amigos de la Tierra -AECO-AT, 2007). Y según Vaughan (1989), citado por AECO-AT (2007), considera que "en términos ambientales y sociales, ninguna actividad industrial es más devastadora que la minería superficial a cielo abierto.

- **Minería de interior o subterránea:** Actividades y operaciones mineras desarrolladas bajo tierra o subterráneamente (Ministerio de minas y energía 2003).

- **Minería artesanal de aluvión:** El Banco Mundial define la minería artesanal como "*la explotación de depósitos minerales a pequeña escala, cuyos métodos utilizados son de tipo manual o con el uso de equipos o implementos muy simples,*" (Buezo, 2005) considera que es la "extracción del oro por mineros individuales o empresas pequeñas con muy poco capital invertido y producción limitada" y PUMA y MADS (2012) consideran que la minería artesanal es la actividad minera que la ejercen personas en la informalidad, con muy baja capacidad de gestión y cuentan con tecnología precaria. No toda la minería artesanal utiliza el mercurio en los procesos de beneficio del oro; algunos mineros han reemplazado el mercurio por cianuro, pero en la minería artesanal de filón, el mercurio se sigue utilizando (PUMA y MADS, 2012). Según PUMA y MADS (2012), este tipo de extracción la realizan individuos o pequeños grupos en áreas de explotación tradicional y hoy en día también en áreas inexploradas, a las que por su ubicación geográfica y/o por los conflictos sociales no se había podido acceder en el pasado. Esta técnica de extracción del oro puede ser a cielo abierto o de socavón.

- **Minería artesanal de coluvión:** es el aprovechamiento con fines de extracción del oro a partir de fragmentos depositados en la base de la pendiente por efectos de la gravedad (Ministerio de Minas y Energía 2003).

- **Minería artesanal en filones o vetas:** Cueva que se excava en la ladera de un cerro o monte y a veces se prolonga formando galerías subterráneas, en esta minería por su baja capacidad de procesamiento beneficia vetas y filones con alto contenido de oro y que el oro contenido sea de tamaño medio y grueso, es decir que esté por encima de 40 micrones (PUMA y MADS, 2012).

- **Minería de pequeña escala:** la “pequeña minería” o “minería de pequeña escala” es un rango inmediatamente superior a la minería artesanal; en este tipo de explotación y beneficio de minerales auríferos se observa una evolución del minero en las técnicas y las tecnologías aplicadas, en la inversión de capital, en la integración de explotaciones y en la necesidad de contar con licenciamiento tanto minero como ambiental. Requiere mayor inversión de capital entre 250 y 2.000 millones de pesos para desarrollar un proyecto minero a pequeña escala. En la pequeña minería de oro se interiorizan ya conceptos de empresa e industria y adquieren importancia las actividades de mejoramiento en la recuperación de metales, introducción de productos para la amalgamación en el beneficio de oro, disminución de costos de operación y optimización de procesos, administración de recursos y personal y la integración o articulación entre mineros (PUMA y MADS, 2012).

La minería a mediana y pequeña escala, con mayor capacidad y tecnología, aprovecha el oro libre de mayor tamaño contenido en los depósitos primarios, mediante el uso de concentración gravimétrica y amalgamación; un proceso de recuperación complementario va dirigido al oro de menor tamaño (< 75 micrones) conocido como oro cianurable o polvo de cara; este beneficio se realiza por cianuración mediante agitación o percolación (PUMA y MADS, 2012). Aun cuando la pequeña minería de oro ha ido mejorando poco a poco en su desempeño ambiental, la realidad es que muchas de estas explotaciones están muy lejos de ser sostenibles, en los procesos de beneficio de la minería aurífera de pequeña escala de depósitos tanto primarios como secundarios, la técnica de la amalgamación sigue presente en alta proporción convirtiendo a la minería de pequeña escala en una de las mayores fuentes de descarga de mercurio al ambiente (PUMA y MADS, 2012).

Las cooperativas y asociaciones de pequeña minería son aquellos grupos de pequeños mineros registrados ante Cámara de Comercio para obtener un título minero o una licencia

bajo la modalidad de minería tradicional. Debido a la imposibilidad de segregar los títulos, las cooperativas son responsables ante las autoridades por la presentación de los Planes de Manejo Ambiental (PMA), Planes de Trabajos y Obras (PTO), pago de regalías y demás obligaciones. Las cooperativas/asociaciones censadas por ARM tienen en promedio 68 socios.

Ante la ausencia de una definición universalmente aceptada, la minería artesanal y de pequeña escala (MAPE) es usualmente caracterizada por los siguientes aspectos según Hentschel, *et al.* (2002), el uso mínimo de maquinaria y tecnología; técnicas simples que requieren de un mayor esfuerzo físico de las personas; la explotación de recursos naturales sin contar con los títulos de minería correspondientes (concesiones, reclamos) ni un contrato válido con el titular de la concesión; la baja productividad debido al uso de técnicas ineficientes y a que usualmente se realiza en pequeñas parcelas y en terrenos de superficie o creados por aluvión de materiales. Con el objeto de aumentar sus hallazgos, la MAPE usualmente repite sus procesos de explotación sobre las mismas áreas; la falta de medidas de seguridad, de atención de salud y de protección del ambiente; la práctica estacional (por ejemplo en momentos de poca actividad agrícola) o temporal (en respuesta al aumento del precio de los minerales); y la inseguridad económica.

La extracción del oro en veta en la pequeña minería, se realiza mediante variaciones del sistema de cámaras y pilares, en la mayoría de ellas siguiendo el filón en el rumbo y buzamiento, haciendo ensayos y cateo para así determinar las zonas más ricas, y mediante “cúbicos” por los cuales se accede a las zonas meteorizadas del filón donde se han presentado fenómenos de concentración por lixiviación (minería selectiva). El beneficio se realiza en casas o entables mineros (pequeñas plantas mineralógicas).

- *Minería a pequeña escala formal*: se da generalmente en minería de socavón; con frecuencia cuentan con títulos a nombre de cooperativas, asociaciones, grupos étnicos, sociedades mineras de orden familiar o de explotadores de una misma región (PUMA y MADS, 2012).

- *Minería a pequeña escala informal*: constituida por las unidades de explotación pequeñas y medianas de propiedad individual y sin ningún tipo de registros contables (PUMA y MADS, 2012).

- **Minería a mediana escala:** Según el decreto 1666 de 21 de octubre de 2016 la clasificación minera en Colombia para la minería a mediana escala se da cuando el tamaño de la explotación está en las etapas de exploración y construcción y montaje 150 y 5000 hectáreas y en la etapa de exploración entre más de 15.000 y 300.000 t/año cuando es minería de socavón y más de 250.000 y hasta 1.3000.000 m³/año a cielo abierto (Ministerio de Minas y Energía, 2016).

Minería a gran escala: Según el decreto 1666 de 21 de octubre de 2016 la clasificación minera en Colombia para la minería a gran escala se da cuando el tamaño de la explotación está en las etapas de exploración y construcción y montaje más de 10.000 hectáreas y en la etapa de exploración entre más de 1.3000.000 m³/año cuando es minería de socavón y más de 250.000 y hasta 1.3000.000 m³/año a cielo abierto (Ministerio de Minas y Energía, 2016).

3.3 Términos para la designación de la minería según la normatividad Colombiana

Minería tradicional: Se entiende por "*Minería tradicional*" la que realizan personas o grupos de personas que exploten minas de propiedad estatal sin título inscrito en el Registro Minero Nacional y que acreditan que los trabajos mineros se vienen adelantando en forma continua durante cinco (5) años, a través de documentación comercial y técnica, y una existencia mínima de diez (10) años anteriores a la vigencia de la Ley 1382 de 2010 del Congreso de Colombia, en el Parágrafo 1 (PUMA y MADS, 2012).

Minería informal: Constituida por las unidades de explotación pequeñas y medianas de propiedad individual y sin ningún tipo de registros contables (Ministerio de Minas y Energía 2003).

Minería formal: es la actividad minera que cumple con la normativa minera, ambiental y laboral y que además es solidaria y responsable en el pago de impuestos y regalías (PUMA y MADS, 2012).

Minería legal: Es la minería amparada por un título minero, que es el acto administrativo escrito mediante el cual se otorga el derecho a explorar y explotar el suelo y el subsuelo mineros de propiedad nacional, según el Código de Minas. El título minero deberá estar inscrito en el Registro Minero Nacional (Ministerio de Minas y Energía 2003).

Minería ilegal: se define como: “*La actividad minera ejercida por persona natural o jurídica, o grupo de personas, sin contar con las autorizaciones y exigencias establecidas en las normas nacionales*”. Cualquier nivel de explotación de un yacimiento, ya sea artesanal, pequeña, mediana o gran minería, se considera ilegal cuando se hace exploración, extracción o captación de minerales de propiedad nacional o de propiedad privada, sin el correspondiente título minero vigente o sin la autorización del titular de dicha propiedad, y es considerado un delito según el artículo 244 del Código Penal, Ley 685 de 2001 (PUMA y MADS, 2012). Para el tema puntual de la minería aurífera en el Bajo Cauca, según Corantioquia (2005) y la defensoría del pueblo de Colombia (2015), se estima que más del aproximadamente el 80% de la extracción se ha realizado manera ilegal o informal, actividad en la cual un alto número de personas tienen en esta como su actividad de sustento, las cifra coincide con las reportadas Corantioquia-Universidad de Antioquia (2014) y con las del Observatorio de Conflictos Mineros en América Latina (2016) .

Minería de hecho: La Defensoría del Pueblo (2010) acuñó el término “*Minería de Hecho*”, en lugar de “*Minería ilegal*” ya que refleja la realidad social de las personas que ejercen ésta actividad con cierto tiempo de antelación como medio de subsistencia, y que, no han logrado regularizar o legalizar sus actividades debido a las dificultades en el cumplimiento de los requisitos exigidos por las autoridades mineras y ambientales para tal fin. El término fue establecido en el artículo 58 de la Ley 141 de 1994 para referirse de igual forma, a las personas que sin título minero llevan a cabo actividades mineras pero que son sujetos de procesos de formalización (Guiza *et al.*, 2016).

Minería de subsistencia: Minería desarrollada por personas naturales que dedican su fuerza de trabajo a la extracción de algún mineral mediante métodos rudimentarios y que en asocio con algún familiar o con otras personas generan ingresos de subsistencia. 2. Se denomina así a la explotación de pequeña minería de aluvión, más conocida como barequeo, y a la extracción ocasional de arcillas, en sus distintas formas, y los materiales de construcción (Guiza *et al.*, 2016).

3.4 Procesos de degradación de suelos e impactos ambientales ocasionados por la minería aurífera

Cualquier actividad minera extractiva causa impacto ambiental negativo, porque afectan recursos hídricos, geológicos, biológicos, atmosféricos, socioeconómicos y de salubridad.

Aunque algunos de estos impactos se pueden prevenir y otros minimizar, hay algunos que son inevitables. Los impactos ambientales más relevantes en el Bajo Cauca Antioqueño según Ingeominas (1985); Villamizar (1988):

Impactos sobre las aguas:

- Variación en los cauces y caudales de los ríos y quebradas.
- Aumento en la cantidad de sedimentos por el aporte de los desechos de los canalones a las corrientes de agua o a las ciénagas existentes aledañas.
- Variación en la dinámica hidráulica.
- Contaminación con mercurio.

• Impactos sobre el suelo y la vegetación:

- Destrucción de la cobertura vegetal.
- Destrucción de los suelos.
- Cambios en el paisaje.
- Contaminación de suelos por mal manejo de combustibles.
- Pérdida de suelos por disposición de material estéril en cercanías del sitio de extracción y a los canalones.
- Contaminación del suelo por mal manejo del mercurio.
- Cargueros a lado y lado de las márgenes del río Nechí (dragas).
- Cambios en el lecho natural del río (dragas).

• Impactos en el aire:

- Emisiones de vapores de Hg.
- Emisiones de CO por utilización de maquinaria pesada.

• Impactos en el paisaje:

- Deforestación.
- Sedimentación y agradación de ríos (acumulación de sedimentos).
- Generación de huecos que se colmatan con aguas estancadas.

- **Impactos socio-económicos**

- Gran crecimiento poblacional diferente al nativo con el desplazamiento de este.
- Cambios en el uso del suelo, disminución de actividades agropecuarias.

- **Impacto sobre la salud**

- Excavaciones profundas se convierten en pozos de agua estancada y criaderos de larvas e insectos.

3.5 Actividades que se realizan en el proceso de extracción aurífera

3.5.1 Minería aurífera artesanal aluvial

En esta técnica de extracción del oro no se pueden distinguir las actividades entre las fases de exploración, desarrollo, preparación y explotación a pesar de que aplican técnicas y tecnologías similares, cada frente de trabajo es único y no se evidencia articulación y continuidad en las labores extractivas y en las de beneficio del mineral de oro; en unas, el oro es recuperado generalmente de manera gravimétrica y en otras, por amalgamación (PUMA y MADS, 2012).

El beneficio de oro lo realizan en forma rustica con predominio de mano de obra intensiva no calificada y el uso de medios de concentración como bateas, canalones en tierra y madera, motobombas de muy baja potencia, trituración manual, molienda en pequeños molinos de bolas discontinuos (marranas, tarros, tambores o cocos), muchas veces incluyen mercurio en el beneficio, en especial para los minerales provenientes de yacimientos filonianos (PUMA y MADS, 2012).

Minería aurífera artesanal de filón o socavón: Los mineros artesanales explotan yacimientos primarios o de filón en forma selectiva, recuperando solo el oro libre y utilizando en muchos casos herramientas y maquinaria rudimentarias; por su parte, la pequeña minería explota estos yacimientos aplicando mayor tecnología y mejores técnicas para la recuperación tanto del oro libre como del oro asociado. El mineral proveniente de las explotaciones que realiza la minería artesanal de socavón en yacimientos primarios de veta o filón, llega a la planta de beneficio con un rango granulométrico muy heterogéneo; este mineral se apila en patios de recibo de carga o en tolvas de almacenamiento antes

de iniciar el proceso de beneficio, que consta de varias etapas u operaciones, dependiendo si se utilizan circuitos abiertos o circuitos semicerrados.

3.5.2 Minería a pequeña escala

Es la extracción del oro con incorporación de un poco de tecnología, ya que muy buena parte de la mano de obra está dirigida a la operación de máquinas y motores, lo que se traduce en la mecanización del oficio minero (PUMA y MADS, 2012). En la pequeña minería de oro se interiorizan conceptos de empresa e industria y adquieren importancia las actividades de mejoramiento en la recuperación de metales, introducción de la cianuración en el beneficio de oro, disminución de costos de operación y optimización de procesos, administración de recursos y personal y la integración o articulación entre mineros. Sin embargo, muchas de estas explotaciones están muy lejos de ser sostenibles. En los procesos de beneficio de la minería aurífera de pequeña escala de depósitos tanto primarios como secundarios, la técnica de la amalgamación está presente 11 aproximadamente en el 80% de las plantas de beneficio, convirtiendo a la minería de pequeña escala en una de las mayores fuentes de descarga de mercurio al ambiente.

Minería a pequeña escala formal: En la pequeña minería de depósitos primarios se observa el uso de perforación mecánica o eléctrica, ventiladores eléctricos, carretas, coches e incluso de *skip*; el beneficio de los metales preciosos obtenidos se realiza por medio de trituración, molienda en barriles, cocos, molinos californianos y molinos continuos; por su parte en el beneficio de los minerales se encuentran canalones, mesas de concentración, algunos *jigs* o plantillas, concentradores en espiral y tanques de cianuración, entre otros dispositivos (PUMA y MADS, 2012).

Minería a pequeña escala informal: cuando se da en la explotación de aluviones auríferos se desarrolla con retroexcavadoras, buldóceres, volquetas, monitores de más de 3 pulgadas y dragas de succión con diámetros superiores a 3 pulgadas en las mangueras; por lo general, la concentración del oro en estas explotaciones se realiza por métodos gravimétricos; en algunas de éstas, los concentrados son amalgamados fuera de los canalones y en otras, la amalgamación se efectúa en circuito abierto al ambiente (PUMA y MADS, 2012).

3.5.3 Minería a mediana escala

Ésta se divide en dos: minería subterránea y minería a cielo abierto. La minería a mediana escala subterránea es la que remueve o procesa entre 15.000 y 300.000 toneladas de material de mina al año, extraídos del interior del macizo rocoso y procesado en la superficie del suelo, La minería a mediana escala a cielo abierto, es aquella que remueve entre 250.000 y 1.300.000 metros cúbicos de material de mina al año (Ministerio de Minas y Energía, 2016).

3.5.4 Minería a gran escala

Ésta también se divide en dos, subterránea y minería a cielo abierto. La minería a gran escala subterránea es la que remueve o procesa más de 300.000 toneladas de material de mina al año, para lo cual requiere un grado tecnológico considerable. La minería a gran escala a cielo abierto, es aquella que remueve más de 1.300.000 metros cúbicos de material de mina al año y su impacto en el suelo es mucho mayor que los anteriores (Ministerio de Minas y Energía, 2016).

3.6 Características del suelo posterior a la extracción aurífera

Según Kussmaul (1989), citado por la Asoc. Ecol. Costarricense - Amigos de la Tierra, (2007), el impacto ambiental provocado por cualquier actividad minera está relacionado con cuatro factores: tamaño, localización y método de explotación, donde se identifican tres métodos principales: minería a cielo abierto (o minería superficial), minería subterránea, minería por lavado y dragado. Además el beneficio, ya que los minerales metálicos como el oro requieren un alto nivel de procesamiento, así como el empleo de muchos reactivos químicos, generando contaminación química y grandes cantidades de desechos finos. Estos impactos ambientales se pueden resumir en prospección y exploración de yacimientos, desarrollo y preparación de las minas, explotación de las minas, tratamiento de los minerales obtenidos en instalaciones respectivas con el objetivo de obtener productos comerciables.

3.6.1 Minería a cielo abierto

La minería a cielo abierto es una actividad que causa impactos como deforestación, eliminación de la cubierta vegetal, pérdida de la materia orgánica y pérdida y desertización de suelos, afectación de la flora y la fauna (Lugo, 1997); (Mukhopadhyay, Maiti, & Masto, 2013); (Licina, Aksic, Colic, & Zec, 2013); (Licina et al., 2013); (Pacina, Novák, & Popelka, 2012).

Otros factores físicos asociados a la minería a cielo abierto, son los factores geotécnicos o movimientos en masa, los cuales se pueden dar por la desestabilización de laderas, o sobre carga en ellas de materiales residuales, lo cual además de generar inestabilidad, podría constituirse en potenciales riesgos para las personas, animales y demás organismos, ya que el manto de roca saliente de la minería es mecánicamente muy inestable y además pueden convertirse en fuentes de contaminación (Bhuiyan, *et al.*, 2010); (Maiti, 2007).

3.6.2 Minería de Socavón

En esta minería se genera un alto volumen de materiales que son depositados en las zonas destinadas para la molienda, causando afectación de suelos. Según Maiti (2007), las propiedades físicas de los residuos mineros con frecuencia se caracterizan por su alta densidad aparente debido a los minerales primarios que los componen y son muy deficientes para retener humedad. En esta minería el beneficio se realiza con cianuración, en la cual las arenas y los lodos son mezclados en soluciones de cianuro, el oro contenido en estos materiales pasa a la solución en estado iónico y luego la solución enriquecida con metales que se hacen circular con zinc o polvo de zinc, para precipitar el oro (PNUMA y MADS, 2012), por lo cual del proceso salen materiales contaminantes, los cuales tienen que deben ser sometidos a procesos de detoxificación para depositarlos en piscinas en el suelo.

3.7 Actividades de rehabilitación y/o fitorremediación realizadas en áreas de extracción aurífera.

3.7.1 Actividades de rehabilitación

La Organización de las Naciones Unidas (NU) viene incentivando cambios importantes en el manejo del suelo, promoviendo el uso racional y el desarrollo de actividades sostenibles en sus países miembros, promueve el incremento en el contenido de materia orgánica del suelo, ya que con ella se obtendrá efectos directos en las propiedades y cualidades ambientales, agrícolas y sobre la biodiversidad, aportando una mayor fertilidad y productividad del suelo para la producción de alimentos y para la seguridad alimentaria (Robert, 2002).

La rehabilitación y la restauración se refiere al restablecimiento del ecosistema, a devolver los aspectos estructurales y funcionales que presentaba antes de la intervención, es la progresión hacia el restablecimiento del ecosistema (Miranda, Padilla, & Pugnaire, 2004) y Ecological Restoration International and IUCN Commission on Ecosystem Management, 2004)

Mackenzie y Naeth (2010) han encontrado que el uso de capas orgánicas de hojarasca intacta, hojarasca fragmentada y humus en el suelo forestal mejoran el establecimiento de especies de plantas nativas durante la recuperación de arenas posmineras, logrando abundancia de plantas y nutrientes en el suelo. Por su parte Xu, Liu y Sayer (2013) han encontrado que la cantidad y entradas de hojarasca sobre el suelo puede causar importantes efectos en los ciclos biogeoquímicos subterráneos en la rotación y el cambio de carbono y nutrientes de los suelos, aunque afirman que hay incertidumbre. Mendes Filho, Vasconcellos, De Paula y Cardoso(2010) afirman que el despojo de la mina puede mejorarse con interferencias antropogénicas que consisten en repoblar los suelos con enmiendas de materia orgánica y la provisión de diversidad microbiana, para garantizar las condiciones básicas para una actividad biológica del suelo sostenible.

Para la restauración de ecosistemas con áreas degradadas, la sociedad de restauración ecológica da nueve recomendaciones a tener en cuenta, 1 el ecosistema restaurado debe contener un ensamblaje característico de las especies que tenía en el ecosistema de referencia u original, 2 el ecosistema restaurado se debe componer de especies nativas en mayor medida, 3 todos los grupos funcionales necesarios están representados, o deben

tener el potencial de colonizar por medios naturales, 4 garantizar que el ecosistema restaurado sea capaz de mantener poblaciones reproductoras de la especie, 5 el ecosistema restaurado debe funcionar normalmente para su etapa ecológica de desarrollo, 6 el ecosistema restaurado debe estar adecuadamente integrado en una matriz o paisaje ecológico más grande, 7 las amenazas potenciales a la salud e integridad del ecosistema restaurado se han eliminado o reducido tanto como sea posible, 8 el ecosistema restaurado es suficientemente resistente para soportar los eventos normales de estrés periódico o cambios en el entorno para mantener la integridad del ecosistema, y por ultimo 9, garantizar que el ecosistema restaurado sea autosostenible (Society for Ecological Restoration International and IUCN Commission on Ecosystem Management, 2004).

3.7.2 Actividades de fitorremediación

La fitorremediación es el uso de plantas para recuperar los ecosistemas afectados, incluyendo las propiedades físicas, nutrimentales, biológicas y químicas (Carpena & Pilar, 2007).

- **Tipos de Fitorremediación:** según Carpena & Pilar (2007):

Fitoextracción: uso de plantas acumuladoras de elementos tóxicos o compuestos orgánicos para retirarlos del suelo mediante su absorción y concentración en diferentes órganos de la planta.

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 – suelo (Agudelo, 2005).

Fitoimmobilización: uso de las raíces de las plantas para la fijación o inmovilización de los contaminantes en el suelo.

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.

Rizodegradación: consiste en el metabolismo de contaminantes dentro de los tejidos de la planta, a través de enzimas que catalizan su degradación. Se da en el suelo que rodea las raíces, la sustancia excretada naturalmente por la raíz suministra nutrientes para los microorganismos, mejorando así su actividad biológica Agudelo (2005) (Marcela).

- Aspectos a considerar en los programas de fitorremediación:

Carpenter, *et al.* (2004) recomiendan inicialmente hacer un inventario de la flora y fauna nativa o naturalizada y conocer las condiciones climáticas y microclimáticas de la zona, así como realizar la caracterización de los sitios y de los materiales resultantes de la degradación para saber las condiciones a las que se va a enfrentar.

Maiti (2007) y Castellanos & León (2011) afirman que el empleo de especies forestales para la recuperación de suelos degradados por minería mediante depende de la capacidad de adaptación de algunas de esas especies a las condiciones restrictivas físico-químicas con las que queda los residuos mineros, por lo que se debe asegurar la elección apropiada de las especies vegetales para la revegetación.

Recuperación de las propiedades físicas del suelo: sirven como núcleos de condensación que generan humedad, aporte de residuos vegetales que retienen humedad y se descomponen y se trasladan al suelo en sus elementos resultantes (contenidos celulares, nutrientes, hidratos de carbono, y otros), generan sombrero, permiten la regulación de ciclos biogeoquímicos de los nutrientes, sirven de hábitat para otras especies, (Castellanos-Barliza & León, 2011).

Recuperación de las propiedades nutrimentales del suelo: Mendes *et al.* (2010) y Ruan *et al.* (2004) han encontrado respuestas positivas en los programas de rehabilitación de suelos posmineros con el uso de especies diferentes a las forestales, como leguminosas (fabáceas) fijadoras de nitrógeno (N), pastos y otras plantas. De trabajos realizados en Nigeria (África), para manejo de suelos posmineros, Dutta y Agrawal (2001) emplearon con éxito las especies *Acacia albida* y *Eucalyptus camaldulensis*, y obtuvieron en los primeros 20 cm del suelo mayor contenido de nutrientes y mejores condiciones físicas, y mayor absorción de bases del suelo.

Recuperación de las propiedades biológicas del suelo: Dutta y Agrawal (2003) y Mendes *et al.* (2010) afirman que las especies vegetales que por su velocidad y aporte pueden ser importantes, por lo que unas especies pueden ser pioneras y permiten la posterior llegada de otras especies vegetales, han encontrado que las especies más adecuadas son *Eucalyptus híbrido*, *Casuarina equisetifolia* y *Acacia auriculiformis*, ya que en las condiciones bajo las que las plantaron fueron las que mayor crecimiento, mayor contenido y aporte de biomasa y mayor producción primaria neta generan.

Montagnini *et al.* (1999) encontraron que las plantaciones forestales combinadas con especies nativas pueden cumplir una función social, económica y ambiental de mayor efecto combinado, ya que la combinación provee productos arbóreos, absorción de carbono atmosférico, recuperación de la biodiversidad y contribuye a la rehabilitación de áreas degradadas, por lo que recomiendan que los programas de rehabilitación deben ir acompañados con políticas gubernamentales adecuadas, con incentivos y otras medidas, para se cumplan los objetivos múltiples.

Por su parte Carpenter y Nichols (2004) han empleado en el trópico húmedo de Costa Rica, especies de árboles exóticos y nativos, con buenos resultados de adaptación, entre las que se encuentran *Eucalyptus spp*, *Tectona grandis*, *Gmelina arborea* y algunas especies de *Acacia*, y encontraron que en zonas muy erosionadas, les dio resultados favorables las especies *Pinus tecunumanii* y especies nativas de ese país, como *Vochysia guatemalensis*, *Terminalia amazonia* y *Calophyllum brasiliense*, ya que son especies con alta capacidad para repoblar zonas degradadas por minería.

Recuperación del paisajismo: Mukhopadhyay *et al.* (2013) encontraron que entre las especies que crecen en vertederos de sobrecarga de mina, con buena cobertura del dosel y de mayor altura fueron *Cassia siamea* y *Dalbergia sissoo*.

Recuperación de los servicios ecosistémicos:

Conservación de suelos: Rivera, *et al.* (2007) lograron un control exitoso de cárcavas en el suelo que amenazaban de desaparecer un poblado por erosión, recomiendan la fitorremediación con un enfoque combinado de bioingeniería.

Extracción de los metales pesados: Maiti (2007) evaluó la capacidad de 11 especies vegetales de extraer metales pesados y otros micronutrientes, y encontró alta eficiencia de

absorción de dichos elementos en las especies *Dalbergia sissoo*, *Eucalyptus* sp., *Cassia seamay* y *Acacia mangium*.

Especies vegetales con potencial para trabajos de biorremediación en Colombia:

Pandey (2013) reporta que ha identificado en recuperación de vertederos mineros con las especies *Ricinus communis*, *Cicerarietinum* sp, *Vigna radiata*, *Saccharum munja*. Maiti y Maiti (2014) han encontrado fitorremediación de suelos posmineros con especies de pastos como *Stylosanthes humilis*, *Stylosanthes hamata*, *Sesbaniases bania*, *Crotalaria* sp., y *Desmodium* sp.

En Licina *et al.* (2013) obtuvieron la rehabilitación de suelos posmineros mediante la plantación de 20 hectáreas con diferentes especies frutales como manzana, pera, ciruela y otros. Por su parte Maiti (2007) y Castellanos & León (2011) afirman que la recuperación de suelos degradados por minería mediante el empleo de especies forestales, depende de la capacidad de adaptación de algunas de esas especies a las condiciones restrictivas físico-químicas con las que queda los residuos mineros, por lo que se debe asegurar la elección apropiada de las especies vegetales para la revegetación.

Abakumov *et al.* (2013) reportan que las diferencias a nivel de composición vegetal entre las poblaciones vegetales espontáneos y los sitios plantados artificialmente, disminuyen a medida que aumenta la edad del sitio, llegando a ser muy pequeñas diferencias en zonas de 40 años de edad en recuperación.

A nivel de manejo de suelos, la fitorremediación ofrece otras alternativas de manejo de elementos potencialmente tóxicos como los reporta Wong *et al.* (1999), quienes encontraron que *Equisetum rubiaceae* y *E. sylvaticum* pueden usarse en la fitorremediación de sitios contaminados con arsénico y mercurio. Nuril *et al.* (2009) reportan que las especies *Lindernia crustacea* (L.) F.M., *Digitaria radicata* (Presl) Miq, *Paspalum conjugatum*, *Cyperus kyllingia* acumularon 89.13, 50.93, 1.78 y 0.77 ppm de mercurio respectivamente. Mientras que *Paspalum conjugatum*, *Cyperus kyllingia* acumularon 16.52 y 33.16 ppm de cianuro respectivamente.

Montagnini, *et al.* (1999) recomiendan que los programas de rehabilitación deben contar con políticas adecuadas de los gobiernos, con incentivos y otras medidas, para asegurar la reforestación de áreas degradadas.

Por su parte Mendes *et al.* (2010) encontraron que cinco especies leñosas a saber: *Acacia mangium* Willd., *Inga edulis* Mart., *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth, *Parkia multijuga* Benth y *Schinus terebinthifolia* Schlecht. & Cham, tienen uso potencial para el establecimiento en residuos de minería, con inoculación de hongos micorrízicos, aplicación de compost orgánico y enmienda de termofosfato.

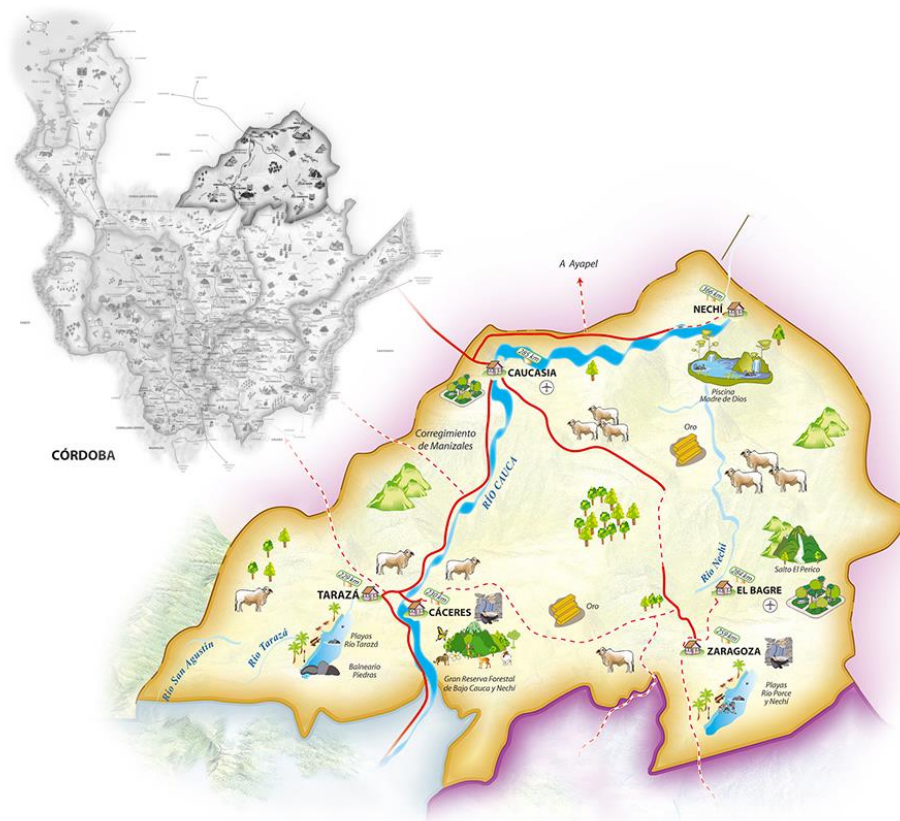
Investigadores de la India han realizado trabajos para el manejo de zonas degradadas por minería con especies de árboles como *Albizia lebbbeck*, *Acacia catechu*, *Azadirachta indica*, *Dalbergia sissoo*, *Gmelina arborea*, *Phyllanthus emblica*, *Pongamia pinnata*, *Tectona grandis*, *Terminalia bellirica*, en los que encontraron alto valor por su capacidad de respuesta en zonas con condiciones extremas (Srivastava, Ram, & Masto, 2014).

4. Materiales y Métodos

4.1 Localización

El trabajo se desarrolló en la subregión del Bajo Cauca Antioqueño incluyendo los municipios de: Cáceres, Taraza, Caucasia, Nechi, el Bagre, y los municipios Zaragoza y Anorí.

Figura 4-1: Ubicación de la subregión del Bajo Cauca Antioqueño indicando la vocación y el uso del suelo.



Fuente: IDEA (2014).

4.2 Sitios de evaluación y muestreo

Para la elaboración del diagnóstico de los procesos de degradación de suelos e impacto ambiental ocasionado por la minería aurífera en el Bajo Cauca Antioqueño se realizaron dos fases, una dirigida a conocer la minería artesanal, pequeña, mediana y gran minería informal en siete municipios, y la segunda se concentró en conocer la minería formal en los municipios de El Bagre y Zaragoza. Los criterios que se tuvieron para ubicar la explotación minera y clasificarla en la escala artesanal, pequeña, mediana o gran minería, legal o ilegal, formal o informal, fue mediante observación, consultas y algunas mediciones.

Para dar respuesta a los tres objetivos planteados en el trabajo, a saber: 1. Identificar las actividades realizadas en el proceso de extracción de oro en la zona de estudio, 2. Describir el estado en los que queda el suelo posterior a la extracción aurífera y 3. Determinar las actividades de rehabilitación o fitorremediación realizadas en áreas de extracción aurífera, se procedió mediante visitas a las zonas de extracción aurífera, en las cuales de averiguó, se observó y/o se midieron los siguientes aspectos:

- Tipo de explotación minera: artesanal, pequeña y mediana y minería a gran escala.
- Grado de tecnificación: el tipo y uso de herramientas, equipos o maquinaria empleadas.
- Actividades por explotación minera: si se dejaba en abandono la zona, o si se hacía perfilado (nivelado) de montículos y llenado de huecos, si se hace alguna actividad de aprovechamiento de las áreas.
- Labores de remediación: si se realizaban siembras de plantas para absorción de elementos contaminantes, o para rehabilitar condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo posminero, o que usos o tratamientos se le realizan a dichas áreas después del proceso minero.
- Uso de elementos químicos: si se empleaban cianuro, mercurio o algún otro elemento químico.
- Beneficio y lugar de este proceso: en los distintos tipos de minería, se consultó y observó, si se realizaba el beneficio en la zona de extracción o si se trasportaba el material de mina para procesarlo en un lugar diferente.

- Parte legal de la minería: se consultó si el proceso tenía permisos oficiales, si se contaba con licencia para exploración y explotación, y planes de manejo ambiental, o si estaba en proceso algún permiso, o se carecía del mismo.
- Toma de muestras para laboratorio: en algunos sitios -donde fue posible, se tomaron muestras de suelos y/o de aguas siguiendo la metodología recomendada por el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, para conocer aspectos como la granulometría (textura) y la composición química nutricional.
- Mediciones de campo: en algunos de los sitios visitados se elaboraron calicatas o cajuelas de 50 cm por todos los lados (0.125m^3) como se muestra en la figura 4-2, en un número que varió de cero a seis (0-6), también donde fue posible se realizaron muestreos de suelos mediante barreno con un número de muestreos que varió de cero a catorce (0-14), ya que en ocasiones dichos muestreos generaban malestar entre las personas, o en otras ocasiones por el estado del sustrato no era posible realizar los mismos. Tanto en las calicatas como en las muestras tomadas con el barreno, se evaluó textura y granulometría al tacto *in situ* siguiendo lo metodología de Jaramillo (2002), lo anterior con el fin de describir el perfil y estado del suelo posminero.

Figura 4-2: Muestreo de suelos mediante calicatas o cajuelas y barrenadas.



4.2.1 Primera fase

En esta se pretendió conocer la minería informal o ilegal y las características de los tipos de minería en los municipios del Bajo Cauca Antioqueño, para lo cual se realizaron cuatro visitas en los municipios de Taraza, Caucasia, Nechi, El Bagre, Zaragoza y cinco en Anorí, en total se consideraron 29 sitios. Las visitas fueron guiadas por habitantes de la zona, miembros de una asociación denominada la “*Asociación Juventud Viva Agroempresarial del Bajo Cauca (ASJUVABC)*”, los cuales tienen experiencia en la labor minera y amplio conocimiento de la zona, que se presentaron para realizar dicha labor con el interés de visibilizar el problema y buscar alternativas.

Para dicha fase, los sitios muestreados y actividades realizadas en cada uno, fueron los siguientes:

- **Nechi:** Muestreo 1: en este municipio se visitó la finca del señor Mario Fidel Díaz, en el corregimiento Colorado, la cual había sufrido un proceso de extracción aurífera a gran escala en un terreno de más de 20 hectáreas que correspondía a una explanación formada por una antigua terraza aluvial. Allí se elaboraron cuatro (4) calicatas o cajuelas de 50 cm por cada lado (0.125m^3), como se muestra en la figura 4-2, se realizaron ocho barrenadas, no se tomaron muestras para análisis de laboratorio.

Muestreo 2: Este muestreo se realizó en la vereda Gurú del municipio, a 50 metros de río Nechi, en una llanura de inundación, ubicada en las coordenadas $7^{\circ}51'0.69''\text{N}$ y $75^{\circ}12'29.65''\text{O}$. En este sitio había un proceso de extracción de minería artesanal y según las personas presentes, el sitio ya había sufrido minería a pequeña y mediana escala en años atrás. En el muestreo se elaboraron cuatro calicatas, no se tomaron muestras para análisis de laboratorio.

Muestreo 3: Este muestreo se realizó en cercanías a la laguna del Sapo del municipio, en la finca del señor José Daniel Ruiz, donde según el propietario y algunos habitantes de la zona, la única minería que se ha realizado en este lugar ha sido artesanal. La zona corresponde a una llanura de inundación, de influencia del río Nechi. En este sitio no se tomaron muestras para laboratorio, y solo se realizó una calicata y cuatro barrenadas por autorización del propietario.

La cuarta visita en este municipio se realizó en cercanías a la desembocadura del río Cacerí sobre el río Nechí, por la vereda Carguero. En una zona de inundación de ambos

cuerpos de agua, que ha vivido históricamente la extracción aurífera a todos los niveles, incluso a escala industrial. No fue posible realizar muestreo de suelos ni tomar muestras para análisis de laboratorio.

- **Cáceres:** El muestreo 1 de este municipio, se realizó en una zona de ladera (montañosa) que según algunos pobladores, había sufrido proceso de extracción aurífera artesanal en un afloramiento de agua que se presenta en las coordenadas 7°44'56.89"N y 75°15'37.3"O actualmente se encuentra con una siembra de caucho (*Hevea brasiliensis*). En este sitio se elaboraron cuatro calicatas y ocho barrenadas, no se tomaron muestras para análisis de laboratorio.

- La segunda zona de este municipio que se visitó está ubicado en la vereda la Esmeralda, en el rio Cacerí, el cual según los pobladores de la zona, es una de las fuentes de agua que históricamente más ha sufrido el proceso de minería aurífera a todos los niveles tanto en sus terrazas como en su cauce, allí no fue posible hacer calicatas, ni barrenadas, ni tomar muestras, ya que se estaba adelanta esta labor por muchas personas que se podían incomodar.

La tercera visita se realizó en la vereda la Viajagual, en la quebrada del mismo nombre, la cual según habitantes, ha estado en intervención minera desde hace años, hasta el punto de cambiarle el caudal en varios de sus tramos. Esta zona está compuesta de pequeñas laderas, llanuras de inundación y antiguas terrazas convertidas en explanaciones. Allí se encontró minería aurífera a todas las escalas, predominando la de artesanal y mediana y pequeña escala. Por precaución no se hicieron muestreos ni se tomaron muestras.

La cuarta visita de este municipio, se realizó se realizó en la quebrada la Peñita, a la altura de la vereda la Peñita. Al igual que las anteriores fuentes de agua, también presentaba una intervención minera artesanal y a mediana y pequeña escala. Una zona compuesta llanuras de inundación, antiguas terrazas y pequeñas laderas. Tampoco fue posible hacer muestreos ni se tomaron muestras para laboratorio.

- **Taraza:** El primer muestreo de este municipio se realizó en la quebrada Pozo Hondo, sector Chuichui, en las coordenadas 7°44'56.589"N y 74°15'37.3"O, que corresponde a una zona de inundación de este cuerpo de agua, el cual desemboca en el rio Cauca a menos de un kilómetro del sitio de estudio, a su vez está compuesta por laderas o montañas pequeñas y medianas que conforman la vertiente de dicho cuerpo de agua.

Según algunos pobladores, en esta afluente se había presentado minería artesanal desde antiguo y en las últimas décadas se intervino con minería a mediana y pequeña escala. En este sitio se elaboraron tres calicatas y siete barrenadas, y no se tomaron muestras para análisis de laboratorio.

Muestreo 2, este se realizó en el río Caño Guarú en jurisdicción del municipio de Tarazá, en las coordenadas 7°51'0.69"N y 75°12'29.65"O, el sitio está conformado por terrazas antiguas y llanuras de inundación del mismo río, y también desemboca en el río Cauca. En este sitio había actividad de minería artesanal y minería de mediana y pequeña escala (dragado). En este se elaboraron dos calicatas y cinco barrenadas, y no se tomaron muestras para análisis de laboratorio.

El tercer reconocimiento del municipio de Tarazá se realizó en la quebrada Río Rayo, a la altura de la vereda con el mismo nombre (Río Rayo), se caracteriza por llanuras y terrazas aluviales, que conforman planicies. Esta zona ha sufrido la intervención de minería aurífera de mediana y pequeña escala, hasta minería a gran escala, e incluso había actividad minera intensiva, por lo cual no fue posible realizar los muestreos de suelo, ni tomar muestras para laboratorio.

El cuarto sitio visitado de este municipio se realizó en la quebrada Puquí, de la vereda con el mismo nombre (Puquí), que se caracteriza por pequeñas laderas, con inclinación suave y llanuras y terrazas aluviales. La zona ha sufrido la intervención minera intensa, de mediana y pequeña escala, hasta a gran escala. No fue posible realizar los muestreos de suelo, ni tomar muestras para laboratorio.

- **Caucasia:** El primer muestreo en este municipio se realizó en las cercanías a la quebrada que pasa por Asovivienda, sector la 8, en las coordenadas 7°59'9.21"N, 75°12'5.06"O, que corresponde a una zona de inundación, y pasa por el casco urbano. Según algunos de sus habitantes, este cuerpo de agua durante varios años presentó minería artesanal y a mediana y pequeña escala. En este se elaboraron cuatro calicatas y 10 barrenadas, no se tomaron muestras para análisis de laboratorio.

Segundo muestreo, éste se realizó en cercanías al puerto del corregimiento de Jardín del municipio de Caucasia, en las coordenadas 7°51'0.69"N, 75°12'29.65"O, el sitio corresponde a una llanura de inundación del río Cauca, en el cual se ha realizado minería

artesanal y de dragado del río a mediana y pequeña escala. En este se elaboraron tres calicatas y cuatro barrenadas, no se tomaron muestras para análisis de laboratorio.

Tercer muestreo, éste se realizó en la vereda El tigre, en la finca Santa Clara, propiedad del señor Ramon David Jiménez, y corresponde a una explanada de con pequeñas montañas, el sitio muestreado queda en cercanías a un cultivo de caucho (*Hevea brasiliensis*) de la finca, en el cual tiempo atrás se había realizado minería artesanal no intensiva. En este sitio se elaboraron ocho calicatas y 15 barrenadas, no se tomaron muestras de suelos para análisis de laboratorio.

La cuarta zona que se visitó en este municipio, está ubicada en el río Cacerí a la altura de la vereda Los Delirios, sector el tigre 2, que corresponde a una explanada de antiguas terrazas del mismo río y zonas de inundación. En la cual, según sus habitantes y como se pudo constatar ha sufrido un proceso fuerte de extracción aurífera a todos los niveles. En este sitio no se elaboraron calicatas, ni barrenadas, ni se tomaron muestras para análisis de laboratorio.

- **El Bagre:** El primer muestreo en este municipio se realizó en el sitio Maranata, que corresponde a una antigua zona de extracción minera y en la actualidad se encuentra en rehabilitación y conforma una zona verde cercana a casco urbano ubicada en las coordenadas 7°35'59.96"N, 74°48'29.4"O. En esta no fue posible realizar calicatas ni barrenadas, ni muestras para análisis de laboratorio.

El segundo muestreo se realizó en un sitio cercano a la quebrada La Sardina, que corresponde a antiguas terrazas y llanuras de inundación de este mismo cuerpo de agua, donde se han dado procesos de extracción aurífera a mediana y pequeña escala, ubicada en las coordenadas 7°34'31.56"N, 74°47'55.27"O. En esta se realizaron cuatro calicatas y diez barrenadas, no se tomaron muestras de suelos para análisis de laboratorio.

El tercer muestreo del municipio de El Bagre se realizó en el sitio Tigui, cerca al río Nechi, que corresponde a antiguas terrazas y llanuras de inundación de este, donde se han dado procesos de extracción aurífera a todos los niveles, ubicado en las coordenadas 7°35'49.27"N, 74°48'52.24"O. En ésta se realizaron dos calicatas y no fue posible realizar barrenadas, no se tomaron muestras de suelos para análisis de laboratorio.

El cuarto muestreo del municipio de El Bagre se realizó en la finca del señor José Moreno Bandera, en la vereda Villa, y corresponde a zonas de ladera, donde esporádicamente se

han dado procesos de extracción aurífera artesanal, y a mediana y pequeña escala. En ésta se realizaron cuatro calicatas y seis barrenadas, no se tomaron muestras para análisis de laboratorio.

- **Zaragoza:** El primer muestreo del municipio de Zaragoza se realizó entrando para el Bagre, en jurisdicción del municipio de Zaragoza, en las coordenadas 7°36'7.39"N, 74°50'19.58"O, y corresponde a antiguas terrazas del río Nechí, donde se han dado procesos de extracción aurífera a todos los niveles. En ésta no se realizaron calicatas ni fue posible realizar barrenadas, ni se tomaron muestras para análisis de laboratorio.

El segundo muestreo de este municipio se realizó en la vereda la Y, quebrada San Pedro, que corresponde a una zona de inundación compuesta por depósitos aluviales, ubicado en las coordenadas 7°33'49.22"N, 74°48'35.04"O. En éste se realizaron cuatro calicatas y no fue posible realizar barrenadas, no se tomaron muestras para análisis de laboratorio.

El tercer muestreo se realizó en la vereda la Y, quebrada la Sardina, que corresponde a una zona de inundación y presenta depósitos aluviales, en las coordenadas 7°34'20.02"N, 74°47'49.82"O. En éste se realizaron cuatro calicatas y diez barrenadas, no se tomaron muestras para análisis de laboratorio.

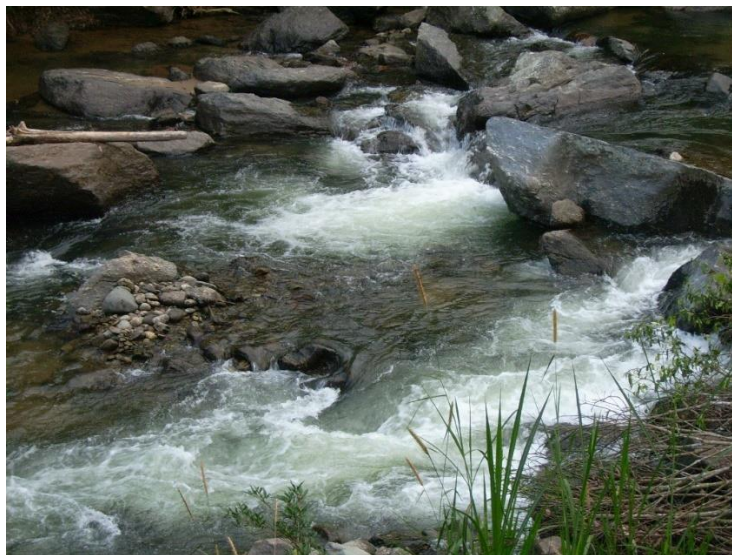
El cuarto muestreo del municipio de Zaragoza se realizó en la finca del señor Jairo Corcho, en la vereda Tosnaban, cerca al río Nechi, que corresponde a antiguas terrazas en las cuales dos décadas atrás se había dado procesos de extracción aurífera a mediana y pequeña escala. En ésta se realizaron cuatro calicatas y seis barrenadas, no se tomaron muestras para análisis de laboratorio.

- **Anorí:** El primer sitio de reconocimiento de este municipio se realizó en el río Porce, sector Chaparral, en cercanías a la finca del señor Gustavo Mena, 500 metros abajo del corregimiento Naranjal del municipio de Amalfi (frente a éste), a orillas del río. Se caracteriza por ser una zona montañosa, con pendientes pronunciadas en la vertiente del río. Según algunos pobladores, en este cuerpo de agua siempre se ha realizado minería artesanal y de mediana y pequeña escala, y actualmente dicho río está represado aguas arriba al sitio de estudio por parte de Empresas Públicas de Medellín (EPM) para la obtención de energía hidroeléctrica; pese a esta situación las personas continúan realizando sus actividades de extracción aurífera. Allí se elaboraron cuatro calicatas y siete

barrenadas, y se tomó registro fotográfico. No se tomaron muestras de agua ni de suelos para laboratorio.

El segundo muestreo se realizó en la vereda Cruces, en el río Anorí (Figura 4-3), en cercanías a la finca del señor Orfan Arboleda Tapia, se caracteriza por ser una zona montañosa, con pendientes pronunciadas en la vertiente. Este río históricamente ha sufrido minería artesanal y a pequeña y mediana escala. El reconocimiento se hizo en las cercanías al río, donde se estaba adelantando un proceso de dragado y además se estaba removiendo material del pie de la montaña en busca del metal precioso, en las cercanías a este. No fue posible realizar muestreos ni registros fotográficos.

Figura 4-3: Río Anorí, vereda Cruces (Anorí, Antioquia).



El tercer punto de estudio se realizó en la vereda los Tarros, donde aflora la quebrada Los Tarros, de este municipio. Se caracteriza por ser una zona montañosa, con abundante vegetación, una zona denominada por algunos habitantes como virgen, es decir que no había sido de intervención minera. Allí se estaba realizando minería artesanal y de pequeña y mediana escala, donde estaban removiendo los suelos al lado y en el cauce del cuerpo de agua. No fue posible realizar muestreos ni registros fotográficos, solo se pudo observar.

El cuarto punto de estudio se realizó en la vereda La Moreno, en la quebrada con este mismo nombre. En la finca de la señora Luz Mila Castaño y el señor Carlos Muñoz. Zona compuesta por montañas y laderas de pronunciación fuerte a suave, con abundante vegetación, y presentaba una fuerte intervención minera artesanal y de pequeña y mediana

escala, en la cual se removía el suelo y la vegetación al lado y dentro del cauce del cuerpo de agua. No fue posible realizar muestreos ni registros fotográficos, solo se pudo observar.

En este municipio se visitó un quinto punto, ubicado en el río Anori, en la vereda El Chillido, en la finca del señor Orlando Hernández, igual que el primer punto, está en el río que pasa por este municipio, por zona montañosa, con pendientes pronunciadas, El cual históricamente ha sufrido minería artesanal y de pequeña a mediana escala. Se ha dragado todo el cauce en busca del metal. No fue posible realizar muestreos ni registros fotográficos.

4.2.2 Segunda fase

En ésta se pretendía conocer la minería aurífera formal a gran escala que se realiza en los municipios de la zona, aunque el estudio se concentró en los municipios de El Bagre y Zaragoza, ya que en estos fue posible conocer la operación de la empresa Mineros S.A., la que además de permitir la entrada a sus predios, aportó el apoyo logístico y un equipo técnico interdisciplinario para acompañar los recorridos y explicar las actividades que se realizan en la operación. En la minería aurífera aluvial a cielo abierto se realizaron cuatro visitas al municipio de El Bagre desde el año 2014 al 2017, donde la empresa tenía esa operación concentrada. Por su parte la empresa visitada tenía concentrada la operación subterránea en el municipio de Zaragoza, donde se hicieron dos vistas en los años 2015 y 2017 para conocer el proceso de extracción.

Los muestreos y recorridos para elaborar el diagnóstico de esta minería a gran escala se hicieron con el acompañamiento de personal capacitado por parte de la empresa Mineros S.A., entre los que se contó con la presencia del ingeniero Carlos Cardona, director del departamento de recuperación ambiental en ese momento, con la bióloga Nayibe Cala, la veterinaria Erika Herrera, con el ingeniero Abraham Salazar, con el tecnólogo Julio Arrieta, el técnico Diego Londoño y el auxiliar y guía de campo Jaime Martínez, equipo suministrado por la empresa.

Minería aurífera a gran escala en el municipio de El Bagre: Para el conocimiento de ésta se recorrieron las parcelas que habían sido intervenidas con extracción aurífera, y que se encuentran en proceso de manejo posminero.

En las parcelas visitadas, se elaboraron calicatas o cajuelas de 50 cm por todos los lados como se muestra en la figura 4-4, y se realizaron barrenadas para describir el perfil, cuando las condiciones físicas del sustrato y los medios logísticos lo permitieron. Y se observó el tipo de vegetación en cada una, así mismo se conocieron mediante observación y consultas, las especies vegetales empleadas y las prácticas de manejo que la empresa realiza en su programa.

Figura 4-4: Calicata o cajuela en suelo posminero a gran escala.



La primera parcela visitada fue la de cero años de recuperación, de la cual no se tienen coordenadas ni muestras de laboratorio, ya que esta corresponde al momento de cierre del proceso de extracción minera, donde aún no se había realizado actividades de manejo posminero.

La segunda parcela visitada fue la de un año en manejo posminero, no se tienen coordenadas, pero se realizó calicata y se tomaron muestras de suelos y de aguas para análisis nutricional en laboratorio y se observó la vegetación presente.

La tercera parcela en proceso de recuperación visitada está ubicada en las coordenadas 7°52'1.57"N y 74°48'35.0"O, la cual presentaba dos años de manejo posminero. Se realizó cajuela, se tomaron muestra de suelos y se observó la vegetación.

La cuarta parcela visitada corresponde a una de cinco años de manejo posminero, ubicada en las coordenadas 7°49'35.32"N, 74°47'51.56"O, allí se realizó cajuela y se tomaron

muestras de suelos para análisis de laboratorio y se observó la vegetación, y se interactuó con sus habitantes.

La quinta parcela visitada corresponde a una de ocho años de recuperación, de la cual no se tienen coordenadas, pero se realizó calicata y se pudo barrenar en algunas de sus partes, e interactuar con sus habitantes. No se tomaron muestras de suelos, pero si de aguas para análisis de laboratorio, se observó la vegetación presente y se interactuó con sus habitantes.

La sexta parcela visitada corresponde a la parcela de mayor edad en proceso de recuperación posminero realizada por la empresa anfitriona, con 15 años en el programa de remediación, en esta se elaboraron 8 calicatas y 14 barrenadas, se tomaron muestras de suelos y de aguas para análisis de laboratorio, se observó y consultó por la vegetación presente y se interactuó con sus habitantes.

Zaragoza: como ya se anotó, en este municipio la empresa Mineros S.A. tiene la operación de minería subterránea o de socavón (veta), por medio de la empresa Operadora Minera S.A.S., en las veredas la Ye y Mangos de este municipio. Allí dicha empresa facilitó los medios y la logística para conocer de primera mano dicha operación que correspondía a una minería a gran escala. Aunque esta por ser subterránea no era parte del objetivo, se aprovechó para conocerla y describir mediante observación sus impactos en el suelo, además por su importancia en la región. En ésta, se recorrieron todas las instalaciones y procesos, e incluso se pudo entrar a las galerías subterráneas para conocer el proceso allí dentro. No se tomaron muestras para análisis de laboratorio.

4.3 Actividades realizadas en el proceso de extracción de oro en la subregión del Bajo Cauca antioqueño:

4.3.1 Primera fase

Para alcanzar este objetivo, en los sitios muestreados se hizo una descripción de las actividades realizadas para la extracción del oro y se consultó con las personas directamente relacionadas con el proceso de extracción o en su defecto con los habitantes de la zona, sobre los pasos o actividades para realizar la extracción aurífera. Para lo cual inicialmente se categorizó el tipo de minería a cielo abierto según el grado de tecnificación, el tamaño de la unidad extractiva, el número de personas involucradas en la unidad

extractiva, lo cual se empleó para clasificarlas en artesanal, pequeña y mediana escala, e incluso en minería a gran escala, se consultó y observó si realizaban amalgamación con elementos contaminantes. Se consideraron además las herramientas o dispositivos empleados para la extracción, el uso de maquinaria y equipos, entre otros.

4.3.2 Segunda fase

Para esta fase se visitó la minería aurífera formal a gran escala que se realiza en los municipios de El Bagre y Zaragoza por la empresa Mineros S.A., allí se contó con el acompañamiento del personal capacitado por parte de la empresa, quienes explicaron cada una de las actividades que realizan para la extracción de oro a gran escala, al cual ya se hizo alusión en este capítulo, y también se nombraron los sitios muestreados y las parcelas visitadas.

4.4 Descripción del estado del suelo posterior a la extracción aurífera

Para el desarrollo de este objetivo se hizo una descripción visual de los sitios intervenidos Vs. los sitios no intervenidos, adicionalmente se emplearon las siguientes técnicas para realizar caracterizaciones.

4.4.1 Calicatas

Se elaboraron donde fue posible calicatas o cajuelas de 50 cm de lado x 50 cm de lado x 50 cm de profundidad (0.125 m³) y también se empleó barreno donde fue posible para describir el perfil como se aprecia en las figuras 4-2 y 4-4. En cada calicata se describió el perfil y se determinó si había formación de horizontes edafológicos o capas horizontales según los métodos descriptivos empleados en la clave para la taxonomía de suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2014), adicionalmente en cada sitio se determinó:

- **Textura:** se determinó al tacto como lo recomienda Jaramillo (2002), que consiste en humedecer un volumen de suelo de aproximadamente 30 g y someterlo a frotación entre los dedos e intentar formar un círculo con la masa húmeda, si se forma fácil es un suelo arcilloso o limoso, si no se forma corresponde a un suelo más arenoso, como se muestra en la figura 4-5.

Figura 4-5: Determinación de textura del suelo al tacto.



- **Estructura:** esta mide el grado de agregación de las partículas del suelo, la cual manualmente se determina intentando romper los terrones en partículas más pequeñas por sus planos de ruptura para ver que formas arrojan, si son angulosas, redondeadas, si dan alguna forma en particular, o si no tienen estructura, como lo recomienda Jaramillo (2002) y como se muestra en la figura 4-6.

Figura 4-6: Determinación en campo de la estructura del suelo.



- **Características químicas de los suelos y de las aguas:** en algunos sitios se tomaron muestras de suelos y de aguas, las amuestras de aguas se tomaron en algunas

fuentes cercanas a parcelas de recuperación ambiental, para conocer su composición nutricional (de suelos y aguas). Los criterios de selección de los sitios a muestrear dependieron de las posibilidades logísticas y de la seguridad del equipo humano de trabajo, de la autorización de las personas presentes en los procesos de extracción aurífera, y en otras ocasiones de los recursos económicos de los que se disponía. Como también se anotó, la toma de muestras se realizó según la metodología de suelos recomendada por el laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

4.5 Actividades de rehabilitación o fitorremediación realizadas en los sitios de extracción aurífera considerados en el estudio

4.5.1 Actividades de rehabilitación después de la extracción aurífera

- **Actividades de rehabilitación en la minería informal:** en cada sitio muestreado con los distintos tipos de minería y sus actividades asociadas, se hizo una entrevista a las personas vinculadas al proceso de extracción aurífera, para saber si tenían algún programa o protocolo sobre la implementación de actividades que permitieran mitigar el impacto ambiental; así mismo, se consultó y se observó si empleaban elementos contaminantes como mercurio, cianuro y otros, y en caso de emplearlos, el tratamiento les daban a estos, y si se realizaba en un espacio apropiado con protocolos de seguridad, y se consultó u observó si el proceso de purificación lo hacían en el sitio de donde se extraía el oro y se separaba del material de sobrecarga (beneficio), o si se hacía en otro lugar diferente.

Además, se evaluaron los siguientes aspectos:

-El *manejo de aguas*: si evitan vertimientos físicos o químicos

-Si se generaban y/o descargaban sedimentos a los cuerpos de agua, o si se hacía un tratamiento previo a las aguas salientes del proceso de extracción.

- Se consultó si hacían alguna actividad de rehabilitación o recuperación de suelos, entre ellas, empleo de plantas para extracción de elementos contaminantes (fitorremediación), o si se empleaban éstas para mejorar las condiciones físicas y nutritivas de suelos, si se favorecía la cobertura vegetal, entre otras.

- **Actividades de rehabilitación en la minería formal:** Mediante consultas, observaciones y descripciones, se conoció el proceso de manejo de suelos posmineros de la empresa mineros SA, la cual emplea un protocolo de rehabilitación de suelos posmineros, para darles un uso sostenible que incluye a la comunidad (de este se hablará en el capítulo de resultados).

4.5.2 Actividades de fitorremediación después de la extracción aurífera

Para conocer las actividades de remediación con plantas (fitorremediación), se procedió mediante observación y consultas con los responsables de la minería en las zonas muestreadas, o con habitantes de los sitios. Para lo cual se buscó obtener la siguiente información:

- *Especies vegetales utilizadas en los procesos de fitorremediación*, nombre común y nombre científico (Figura 4-7). De las especies empleadas con más frecuencia se realizó la descripción botánica (ver resultados).
- El Manejo agronómico de las especies utilizadas en la fitorremediación en cuanto a requerimientos y prácticas culturales (ver resultados).
- Se consultó por la capacidad de adaptación y respuesta en cuanto a crecimiento y desarrollo de cada especie vegetal en la zona (ver resultados).

Figura 4-7: Fitorremediación de suelos en el Bajo Cauca.



Fuente: Region Al día. 2014. Siembra de *Acacia Mangium*, por parte de RIA y la Gobernación de Antioquia, en el corregimiento de Cuturú, Caucasia Antioquia.

5. Resultados y discusión

5.1 Primera fase

5.1.1 Actividades realizadas en el proceso de extracción de oro en la región del Bajo Cauca Antioqueño

En la región predomina la minería artesanal, incluyendo minería de aluvión, minería de coluvión y minería de socavón y en menor proporción la pequeña y mediana minería.

- **Minería artesanal de aluvión a cielo abierto:** En los siete municipios visitados, cuatro sitios por municipio y cinco en Anorí, se encontró que la minería artesanal, o minería de “bareque” o de “barequeo”, la realizan muchas personas que tienen esta actividad como medio de sustento económico, se desarrolla de una manera muy simple (básica) con alto uso de mano de obra y herramientas simples, las zonas preferidas por estos mineros para la exploración de los aluviones son las orillas de los ríos y quebradas (minería de aluvión), utilizan como implementos: palines, azadones, barretones, bateas y canoas artesanales de madera (zarandas) como se aprecia en la Figura 5-1A. En todos los municipios y sitios visitados se encontró que las actividades que realizan los mineros artesanales son muy similares, incluyen: exploración o cateo, desbarranque, lavado, recorte, y amalgamación como se aprecia en el esquema de la Figura 5-2A.

- **Minería artesanal de coluvión a cielo abierto:** en las zonas de laderas cercanas a los cuerpos de agua “catean” o hacen exploraciones iniciales en busca del oro, y una vez definen el sitio, proceden a realizar los movimientos de suelos o desbarranques, donde realizan zanjas o huecos en el suelo para extraer material que posiblemente contenga partículas del oro, como se aprecia en la Figura 5-1B, e incluso en ocasiones llegan hasta la roca (horizonte R) cuando no está muy profundo, en busca del oro y posteriormente lavan el material de mina en bateas o canoas durante el día, y al finalizar la jornada hacen lo que denominan el “recorte”, en el mismo sitio de extracción, que consiste en lavar a

bateas el material acumulado del día, para separarlo de los materiales más gruesos y quedan solo las partículas finas de alta densidad incluyendo el oro. Estos mineros realizan una minería informal, sin licencias, sin asesoría ni acompañamiento técnico, y de una forma muy simple como se indicó en el esquema, el cual es similar y aplicable a todos los sitios visitados.

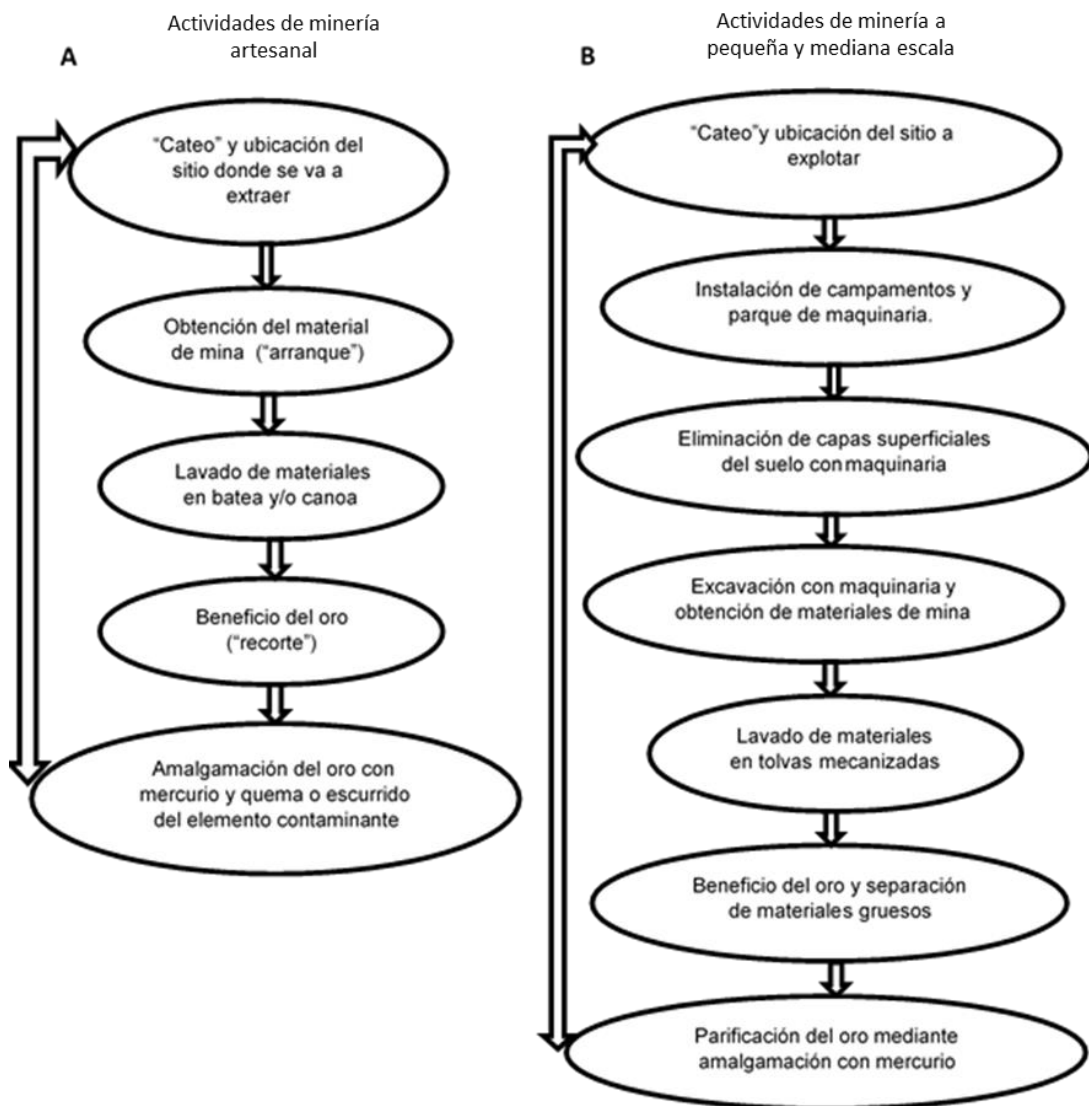
Figura 5-1: Técnica de extracción de oro en el Bajo Cauca Antioqueño en la minería artesanal. A. Equipo artesanal de extracción de oro aluvial, compuesto por zaranda y canoa. B. Cárcava para explorar minería coluvial. C. Barequero extrayendo manualmente material entre rocas.



- **Minería a cielo abierto a pequeña y mediana escala:** en los municipios donde se hicieron los muestreos para conocer las actividades realizadas en la minería aurífera en la zona del Bajo Cauca, se encontró que la minería a pequeña y mediana escala se realiza con el uso de equipos o herramientas que van desde motores de chorro para lavado, pasando por pequeñas dragas artesanales de succión, equipos de respiración bajo el agua, hasta maquinaria como buldócer, retroexcavadoras, tolvas de lavado mecanizadas, camiones o volquetas para transporte de materiales, entre otras.

Esta minería comparativamente con la minería artesanal, se realiza mediante un esquema de actividades similar como se aprecia en el esquema de la Figura 5-2B, no obstante la diferencia radica en que mientras la minería artesanal realiza la labor con herramientas manuales simples, en la pequeña y mediana minería realizan las labores de manera mecanizada a mayor escala y abarca un área de mayor extensión y a mayores profundidades, lo que implica un mayor impacto ambiental ya que remueve mayor volumen de suelos, como se aprecia en las imágenes de la Figura 5-3A y 5-3B.

Figura 5-2: Esquema de actividades que se realizan en el proceso de extracción en la minería aurífera a cielo abierto. A. Minería artesanal. B. Pequeña y mediana escala.



En los distintos muestreos de los municipios se encontró que por lo general en este tipo de minería se retiran las capas superficiales del suelo, y si no poseen suficiente cantidad oro, buscan a mayor profundidad y cuando obtienen el material de mina con potencial aurífero, se procede a transportarlo y lavarlo en tolvas mecanizadas que poseen movimientos e inyectores de agua a presión para facilitar la precipitación del oro por gravedad en el fondo de las canoas como se aprecia en la Figura 5-3C.

Figura 5-3: Minería a pequeña y mediana escala de tipo aluvial y coluvial realizada en la subregión del Bajo Cauca Antioqueño. A. Pequeña minería aluvial; B. Pequeña minería coluvial; C. Tolvas mecanizadas para facilitar la precipitación del oro por gravedad.



Se pudo constatar que esta minería a mediana y pequeña escala se realiza principalmente de manera informal (sin títulos mineros), solo en dos de los sitios visitados, uno en Cáceres (vereda la Viajagual), en la quebrada del mismo nombre y el otro en Tarazá, (vereda Rio Rayo), los grupos más representativos de mineros que estaban allí, respondieron que estaban en proceso de legalizar la actividad, para lo cual ya habían enviado unos documentos a la autoridad ambiental y estaban en la recolección de otros documentos, y pendientes de visitas de equipos técnicos por parte de la autoridad. Este tipo de minería es realizada habitantes de la zona y personas foráneas con mayor capacidad económica. En esta minería, a diferencia de la artesanal, se acostumbra vincular muchas personas, a algunas les pagan un salario o jornal, en ocasiones sin ninguna prestación social, y a otros les pagan con un porcentaje del material extraído.

El proceso es algo similar a la minería artesanal, en el cual posterior a la extracción mediante lavado de materiales en la tolva, se le hace otro proceso de separación del oro de materiales más grueso y se hace por lo general a batea, igual que en la minería artesanal, este proceso lo denomina “recorte”, que lo realizan de manera mecanizada, aunque algunos mineros realizan esta actividad de forma manual.

En entrevistas a los lugareños y mediante observación, se pudo constatar que por lo general los responsables en este tipo de minería, a diferencia de los mineros artesanales, habitan en campamentos en el sitio de extracción, por lo cual el proceso de beneficio y purificación lo realizan en el sitio al final de la jornada y en ocasiones acumulan el producido de varios días y luego en los mismos campamentos, en condiciones sencillas y con

recipientes caseros, sin protección alguna, realizan la amalgamación con mercurio y luego la amalgama la someten a calor para la purificación del oro, liberando el mercurio en forma de gas al ambiente, aunque en algunos casos también eliminan el mercurio por escurrimiento en trozos de tela porosa y vierten los residuos al suelo o a fuentes de agua, sin hacerle manejo o recuperación.

De los 29 sitios considerados en la primera fase para los municipios de Nechi, Cáceres, Taraza, Cauca, el Bagre, Zaragoza y Anorí, donde se consideraron cuatro sitios por municipio y cinco en el último, en la Tabla 5-1 se consignan los resultados obtenidos, encontrándose que:

- **Tipo de explotación (TE):** en la subregión del bajo Cauca Antioqueño predomina la minería aluvial con un 64%, seguida por la minería coluvio – aluvial con un 43%, posiblemente debido a que se requiere muy baja infraestructura para realizar la extracción del oro y en menor proporción se desarrolla la minería coluvial ya que los mineros artesanales deben de identificar las vetas que les garanticen un buen suministro de oro para que les justifique se intervención, además requieren mayor infraestructura.

Tabla 5-1: Características de los sitios considerados en el diagnóstico para evaluar las actividades realizadas en el proceso de extracción informal de oro en la región del Bajo Cauca Antioqueño

Municipio		Ubicación	TE	Tm Exp	AE	HE	PT	ESP	UMCP	Tex.	ARS
Nechi	1	Colorado	CA	MM	An	ByM	MI	EI	Uf	AL Ar	NRR
	2	Gurú	A	MM	An, R, A	S, Pmt, Daa	MI	NFE	Uf	AL	NRR
	3	El Sapo	A	Ar	An, R	S	MI	EI	Uexp	AL Ar	RR
	4	Carguero	A	PM, MM	An, R	Pmt	MI	NFE	Uf	A	NRR
Cáceres	5	Cauchos	C	Ar	R	S	MI	FE	NS	AL Ar	RR
	6	Esmeralda	A	MM	R, Ac	ByM, Pmt, Daa	MI	NFE	Uf	A	NRR
	7	Viajagual	CA	Ar, PM, MM	R, Ac	By M, Pmt, Daa	MI	NFE	Uf	A	NRR
	8	La Peñita	CA	Ar, PM, MM	R, Ac	By M, Pmt, Daa	MI	NFE	Uf	A	NRR
Taraza	9	Chuichui	CA	Ar, PM, MM	An	S	NS	EI	NS	A	NRR
	10	Caño Guarú	A	Ar, PM, MM	Ac	Pmt, Daa	MI	NFE	Uf	A	NRR
	11	Rio Rayo	A	PM, MM, GM	An, R, Ac	ByM, Pmt, Daa	MI y EPL	NFE	Uf	A	NRR
	12	Puquí	CA	PM, MM	An, R, Ac	ByM, Pmt, Daa	MI	NFE	Uf	A	NRR
Caucasia	13	Asovivienda	NS	NS	An	NS	MI	NFE	NS	ALAr	NRR
	14	Jardín	A	Ar, PM	An, R	NS	MI	NFE	NS	AL	NRR

Tabla 5-1: continuación

Municipio		Ubicación	TE	Tm Exp	AE	HE	PT	ESP	UMCP	Tex.	ARS
	15	El tigre	C	Ar	An	S	MI	NFE	NS	AL	RR
	16	Los Delirios Cacerí	A	PM, MM	R, Ac	ByM, Pmt, Daa	MI y EPL	NFE	Uf	A	NRR
El Bagre	17	Maranata	NS	PM	An	NS	MI	EI	NS	AL	RR
	18	La Sardina	A	MM, GM	R y Ac	ByM	MI	NFE	Uf	AL	NRR
	19	Tigu	A	Ar, PM, MM y GM	An, R	ByM, AGT	MI	NFE	US	AL	NRR
	20	La Villa	CA	Ar, PM	An	S	MI	FE	NS	AL	RR
Zaragoza	21	Vía al Bagre	A	Ar, PM, MM	An, R	ByM	MI	NFE	Uf	A	NRR
	22	La Ye	A	PM, MM, GM	R, Ac	ByM	MI	NFE	Uf	A	NRR
	23	La Sardina	A	PM, MM, GM	R, Ac	ByM	MI	NFE	Uf	A	NRR
	24	Tosnoban	A	Ar, PM	An	S, Pmt, Daa	MI	EI	NS	AL	RR
Anorí	25	Chaparral, Porce	A	Ar, PM	An, R, Ac	S, Daa	MI	NFE	Uf	AL	NRR
	26	Cruces	A, CA	Ar, PM	R, Ac	S, Daa	MI	NFE	Uf	AL	NRR
	27	Los Tarros	A, CA	Ar, PM	R, Ac	S, Daa	MI	NFE, EI	Uf	ALAr	NRR
	28	La Moreno	A, CA	Ar, PM	R, Ac	S, Daa	MI	NFE, EI	Uf	ALAr	NRR
	29	El Chillido	A, CA	Ar, PM	R, Ac	S, Pmt, Daa	MI	NFE	Uf	AL	NRR

- **Tipo de explotación (TE):** Tipo de explotación minera (**A:** Aluvial; **C:** coluvial; **S:** socavón; **CA:** Coluvio -aluvial), **NS:** No se sabe.

- **Tamaño de la explotación (Tm. Exp) (T exp):** (**Ar:** Artesanal, **PM:** Pequeña minería; **MM:** Mediana minería; **GM:** Gran Minería. **NS:** No se sabe.

- **Antigüedad de explotación (AE):** **An:** antigua; **R:** reciente, **Ac:** actual, **NS:** no se sabe

- **Herramientas y equipos (HE):** **S:** simples; **Pmt:** pequeños motores; **Daa:** Draga artesanal; **ByM:** buldócer y otras máquinas; **AGT:** Alto grado tecnológico. **NS:** No se sabe.

- **Posesión de títulos mineros (PT):** **MF:** Minería formal; **MI:** Minería informal; **EPL:** en proceso de legalización; **NS:** No se sabe.

- **Estado del Suelo posminero (ESP):** **FE:** Forma estructura, **NFE:** no forma estructura; **EI:** Estructura incipiente. **NS:** No se sabe.

- **Uso de mercurio y compuestos peligrosos (UMCP):** **Uf:** Usa frecuente; **Uexp:** Uso esporádico; **NUs:** no usa; **NS:** no se sabe.

- **Textura (Tex):** **A:**arenosa, **AL:** arena limosa, **L:** limosa, **Ar:** arcillosa

- **Actividades de remediación y rehabilitación de suelos (ARS):** **RR:** realiza remediación; **NRR:** no realiza remediación.

- **Tamaño de la explotación (Tm. Exp.):** en los municipios de Taraza, el Bagre y Zaragoza se encontraron todos los tipos de explotación minera incluyendo minería artesanal, pequeña minería, mediana minería y gran minería, debido posiblemente al acceso que las personas de distintos orígenes y costumbres pueden tener a ella. Mientras que en los municipios de Nechí, Cáceres y Caucasia predomina la mediana minería, aunque también se encuentra la pequeña minería y la minería artesanal debido posiblemente, a que en

estos municipios las personas de escasos recursos tienen ésta como su actividad principal para obtener sus ingresos. En Anorí, toda la minería es artesanal y mediana minería, posiblemente por las condiciones geográficas de este municipio y lo distantes de algunas de las veredas del casco urbano, e incluso por el tema de orden público.

El estudio en la zona permitió conocer que el 57.14% de las actividades extractivas se realizan en minería aluvial, en zonas de influencia de los cuerpos de agua, 32.14% se realizan en coluvio-aluvial (Figura 5-4B) en antiguas terrazas del río y en zonas de montaña cerca a los cuerpos de agua con materiales mezclados de la montaña y aluviales, el 3.6% se realiza en coluvios, en zonas de montaña, donde perforan huecos y brechas en busca del metal, y el 17% restante se realiza de las tres formas combinadas (A, CA y C), como se ilustra en la figura 5-4., donde se encontraron los métodos de extracción asociadas, realizada por minería artesanal, pequeña y mediana escala.

Figura 5-4: Remoción de material y extracción de oro coluvio-aluvial; A: Maquinaria removiendo material; B: Trabajadero por minería artesanal.



De los muestreos se encontró que la pequeña y mediana minería, en un 32.14% permite que los mineros artesanales estén cerca de ellos realizando su actividad de manera simple (ver figura 5-5), en algunos casos en los restos o materiales residuales que los más grandes dejan, a su vez el 92.9% de los mineros artesanales buscan estar cerca de mineros más grandes que ellos, como se puede ver en la figura 5-5. Se encontró que solo un 7% estaba desarrollando su labor en forma aislada.

En la figura 5-5 se puede apreciar una zona de extracción aurífera informal a gran escala, en la cual le han permitido a mineros artesanales y pequeños realizar su labor cerca de ellos, en los materiales que van dejando, una razón que se pudo consultar por la cual los mineros pequeños buscan estar cerca de los grandes, es porque pueden tener acceso a materiales de profundidades a las cuales ellos no tienen facilidad de llegar por sus medios,

y en estos encuentran mayores contenidos del metal precioso, por consiguiente les va mejor, que si lo hicieran de manera aislada.

Figura 5-5: Minería artesanal y pequeña escala, asociadas a minería a gran escala informal. (Zaragoza, Antioquia).



- **Antigüedad de explotación (AE):** mientras en Nechí, Caucasia y el Bagre predomina la minería antigua (Figura 5-6), en Cáceres predomina la minería reciente y actual, Anorí aunque en Chaparral Porce hay minería antigua el resto de los sitios presentan minería recientes y actual, lo que da a entender que se puede estar presentando una expansión hacia esos municipios, obedeciendo talvez a una dinámica que se presenta en esta labor, la cual consiste en desplazarse de unos sitios a otros, a los sitios donde se enteran que hay auge de oro, allí se van a tratar de realizar su labor.

- **Herramientas y equipos (HE):** en los sitios donde se desarrolla la minería artesanal y la pequeña minería predomina las herramientas y equipos simples y las dragas artesanales para la extracción y beneficio del oro, como se apreciar en la figura 5-7.

En cuanto a las dragas artesanales, se encontró que en algunos casos lo mineros pequeños, compran algunas partes, otras las mandan a hacer según la necesidad y las ensamblan ellos mismos, como se puede apreciar en la figura 5.8.

Figura 5-6: Zona de antigua minería. (Caucasia Antioquia).



Figura 5-7: herramientas simples de uso común en minería artesanal y pequeña minería. A. Batea empleada para extracción de oro en minería artesanal; B. Pala empleada para minería artesanal; C. Polvo de oro extraído por minería artesanal



Figura 5-8: draga artesanal de pequeña minería. (Anorí Antioquia).



En la minería pequeña, la mediana y la gran minería se emplean otro tipo de equipos con los cuales se permite acceder a materiales de profundidad (Figura 5-9), que a su vez presentan Mayores reservas del metal.

Figura 5-9: Extracción de materiales con maquinaria en mediana y gran minería.



Poseción de títulos mineros (PT): Se encontró que el 92.9% de los “mineros” realiza la extracción de oro de manera informal, ya que no cuentan con los permisos de ley ni la posesión de títulos mineros, y el 7,1% está en proceso de legalización de la labor. El resultado aunque dio por encima de lo reportado por la Contraloría General de la Nación (2013), Corantioquia (2005), Corantioquia y Universidad de Antioquia (2014) (2005) y del Observatorio de Conflictos Mineros en América Latina (2016), permite intuir que las campañas que vienen realizando las entidades estatales relacionadas con la minería y el medio ambiente, aunque están surtiendo efecto, distan mucho todavía de los valores ideales de legalización de la minería.

-Uso de mercurio y compuestos peligrosos (UMCP): En cuanto al uso de mercurio y otros elementos contaminantes y potencialmente tóxicos, se encontró que la minería aluvial artesanal, pequeña y mediana escala, y a gran escala informal, el 100% usa el metal pesado para el beneficio del oro, sin ninguna precaución ni elementos de protección. Incluso se pudo observar en la minería artesanal, se llevan el oro producido del día para procesarlo en la casa, donde emplean el mercurio para amalgamar, aumentando las

probabilidades de contacto con este metal con otras personas por parte de la familia. Por su parte la minería a mediana y pequeña escala, procesa el oro en los sitios cerca de la extracción, donde tienen sus campamentos, y el proceso de amalgamación, no solo lo hacen sin protección ni precaución, sino que además vierten sobrantes del metal pesado directamente al suelo y a cuerpos de agua, o en forma de gases a la atmósfera por el proceso de quema de la amalgama.

5.1.2 Estado del suelo posterior a la extracción aurífera de la minería en la región del Bajo Cauca Antioqueño (Estado del suelo posminero ESP)

- **Textura del suelo:** a nivel de textura, se encontró que el 39.3% de los suelos visitados correspondían a materiales gruesos provenientes de rocas (cantos rodados), gravas y escombros, completamente sueltos (Figura 5-10A), el 35.7% correspondía a sustratos arenosos con algo de limos y arcillas mezclados (Figura 5-10B y 5-10D), y el restante 25% correspondía a una mezcla de materiales terrosos compuestos por arenas, limos y arcillas (franco limo arcilloso) (Figura 5-10C y 5-10D).

Figura 5-10: Materiales posmineros salidos de diferentes tipos de minería. A. Material de minería, grueso y suelto; B. Material arenoso de suelo posminero; C. Material franco, terroso, de mezcla de materiales posmineros; D. Depósitos de material posminero lavado.



Los anteriores contenidos texturales, se encontraron en todas las minerías: artesanal, pequeña, mediana y a gran escala, aunque los primeros (Figura 5-11A), se encontró que predominaban en suelos de extracción minera a mediana y gran escala.

-Estructura: en los suelos posmineros visitados, se encontró en las mediciones de campo que la minería mediana y a gran escala, el 3.7% formó estructura, el restante 96.3% de las zonas muestreadas, no formaba estructura, ya que correspondía a sustratos compuestos por rocas, arenas, escombros y gravas (Figura 5-11), por consiguiente no correspondían a suelos. En los suelos que formaron alguna estructura, se encontró que el 85.7% correspondía a sitios que habían sido trabajados por minería artesanal y el 14.3% a suelos de minería de pequeña, mediana y gran escala (Figura 5-11), lo cual se pudo constatar visualmente, ya en suelos intervenidos por minería artesanal, el movimiento de suelos y el lavado de los mismos no era tan drástico, mientras que en los otros tipos de minería, se pudieron apreciar excavaciones (Figura 5-11B) y montículos de material lavado (Figura 5-11A), como se puede apreciar en la figura 5-11.

Figura 5-11: Suelos posmineros convertidos en montículos de materiales sin estructura y excavaciones de minería mediana y a gran escala. A: Montículo de material lavado por minería mediana a gran escala; B. Excavación para extraer material de mina por minería mediana a gran escala; C. Montículos de materiales posmineros sin estructura.



5.1.3 Actividades de rehabilitación o fitorremediación realizadas en áreas de extracción aurífera en la minería artesanal, pequeña, mediana y gran minería

De los muestreos y visitas de campo, se encontró que el 17.9% de la minería informal realiza alguna actividad de remediación y el 82.14% no realiza actividad de mitigación alguna; sin embargo, se encontró que en los sitios o predios donde se realizaban esta labor, eran propietarios de dichos predios los que la hacían, el proceso de extracción se había dado ya sea porque ellos mismos habían realizado o porque lo habían permitido. Según los reportaron los propietarios y personas con las que se pudo dialogar, este fue el caso de la Vereda el Sapo en Nechí, El Tigre en Caucasia, La Villa en El Bagre y Tosnoban en Zaragoza, en los cuales los propietarios realizaron actividades de remediación en sus predios. Las especies vegetales que se encontró que con mayor frecuencia se empleaban, correspondían plantas para autoconsumo y para pastoreo, como plátano (*Musa paradisiaca*), yuca (*Manihot esculenta*) (Figura 5-12A), maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), y pastos (Figura 5-12B). Estos últimos se identificaron en el herbario de la Universidad Nacional de Colombia, sede de Medellín, como *Brachiaria* spp y *Cynodon plectostachyus*.

Figura 5-12: actividades de remediación con plantas en suelos posmineros. A. Siembra de yuca en suelos posmineros; B. Siembra de pastos en suelos posmineros.



Según lo informaron las personas que realizaron las labores de siembra de plantas en estos suelos, las especies empleadas, las usan con frecuencia por su alta capacidad de adaptarse a las condiciones climáticas de la zona y a las condiciones del suelo.

Por otro lado, en algunos sitios visitados se pudo observar que algunos suelos posmineros que se dejan en abandono, sin actividades de remediación, empiezan a ser colonizados por distintas especies vegetales fruto de los agentes naturales de dispersión (Figura 5-13), dichas especies no se colectaron ni se identificaron porque no era el objetivo de este trabajo.

Figura 5-13: Zona posminera en abandono, con colonización natural de especies vegetales.



5.2 Segunda Fase

5.2.1 Actividades realizadas en el proceso de extracción formal de oro en la región del Bajo Cauca Antioqueño:

- **Minería a cielo abierto a gran escala:** en el desarrollo de esta fase, para conocer la minería a gran escala, se encontró en el municipio de Zaragoza en la vereda la Ye, una minería informal, que por la capacidad de remoción de suelos y las grandes extensiones que abarca, el tipo de maquinaria empleada y el número de personas involucradas en las diferentes labores, permiten deducir que se trata de minería a gran escala, como se muestra en la figura 5-14; sin embargo, como se trata de minería informal, es muy probable que se trate de la denominada "minería ilegal", a la cual no se tuvo acceso por razones ajenas al muestreo.

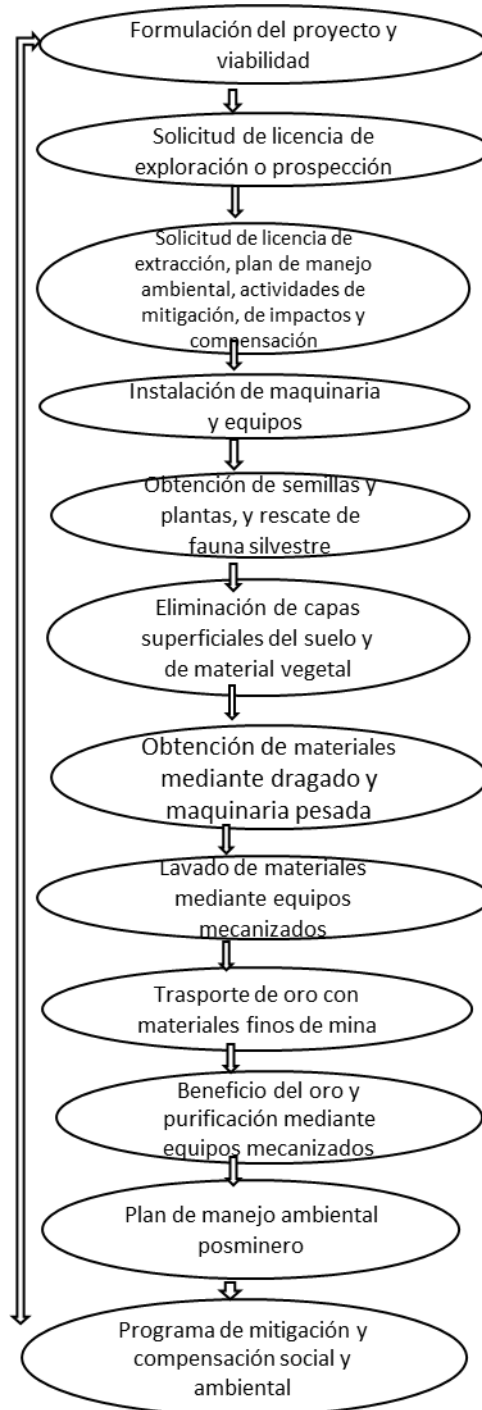
Figura 5-14: Minería informal a gran escala. Vereda la Ye. (Zaragoza Antioquia).



El conocimiento de esta minería se centró en la minería formal, en la empresa Mineros S.A., donde inicialmente se conoció la minería a gran escala a cielo abierto en el municipio de El Bagre, y posterior en el municipio de Zaragoza, se conoció la minería a gran escala subterránea.

En los recorridos para conocer la minería a cielo abierto en el municipio donde la empresa tenía es operación (El Bagre), se conoció entre las actividades a resaltar, la formulación del proyecto y viabilidad del mismo, posteriormente las gestiones en la parte legal para la obtención de la licencia de exploración, y una vez esta se aprueba, viene la prospección o búsqueda del metal precioso mediante equipos (taladros) que permiten obtener muestras de profundidades superiores a 30 metros, y una vez se encuentra la cantidad suficiente, se solicita la licencia de extracción, en la cual tiene que ir un plan de manejo ambiental de suelos, aguas y factores biológicos, actividades de mitigación y compensación de los efectos adversos, tributación, y otros. Por consiguiente, se encontró que entre las mayores diferencias entre esta minería versus la artesanal, la mediana y pequeña escala y la a gran escala informal, tiene que ver con las actividades previas a la extracción, al proceso legal que se de surtir y a las actividades posmineras de remediación, mitigación, compensación. En relación al proceso de extracción, los métodos mineros pueden conservar algunas similitudes, como se aprecia en el esquema de la figura 5-15.

Figura 5-15: Esquema de actividades prevalentes que se realizan en la minería aurífera a cielo abierto a gran escala.



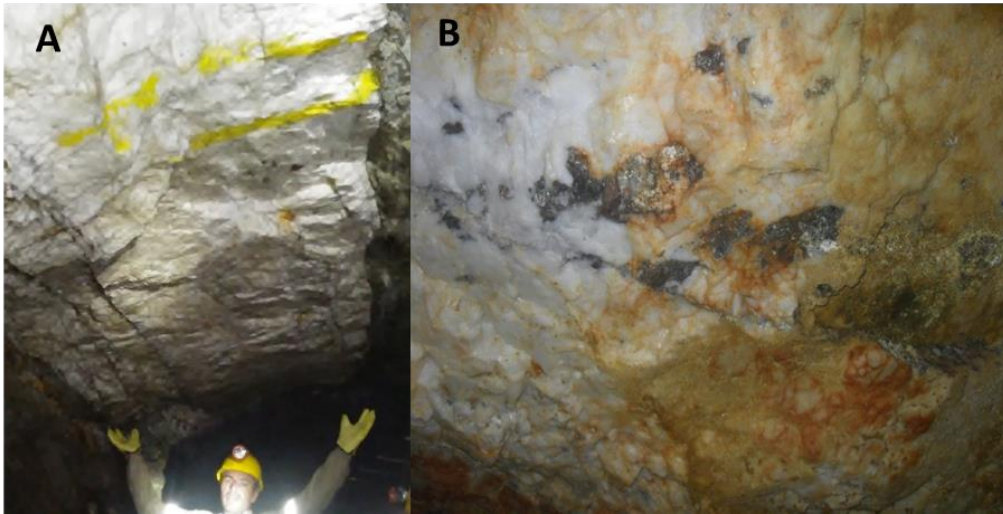
Como se muestra en el esquema, entre las actividades que diferencian esta minería, se encuentran la solicitud de permisos (títulos mineros), el programa de manejo ambiental previo al proceso, durante este y después de la extracción minera, y la tributación al estado.

En cuanto al proceso, se pudo corroborar que esta minería realiza grandes inversiones a nivel técnico y tecnológico en la prospección para asegurarse que se encuentre las cantidades suficientes del metal precioso, para realizar la actividad. Y lo mismo ocurre en el proceso de extracción, en el cual se pudo apreciar una gran inversión tecnológica para hacer que los procesos sean más eficientes y evitar pérdidas. También se pudo apreciar que en los sitios de extracción represan agua que puede circular y represar al río sin sedimentos, los cuales se asientan en el mismo sitio, con el fin de evitar la colmatación de los cuerpos de agua, como se ilustra en el esquema de la figura 5-15.

Por otro lado, se pudo apreciar que en el proceso final del beneficio, se realiza en un lugar diferente al sitio de extracción, para donde se trasporta en helicóptero el metal con partículas pequeñas de otros materiales, y en un espacio acondicionado para ello, realizan la purificación, y según lo reportaron de la empresa visitada, para la fecha de las visitas, hacía más de seis (6) años habían abolido el uso de mercurio, el cual lo reemplazaron por un implemento mecánico diseñado por esta empresa, con el cual logran hacer la separación y purificación del oro sin el metal contaminante. También reportaron que en el tiempo que emplearon dicho elemento, lo hicieron en condiciones controladas de laboratorio, con todos los protocolos de seguridad, en los cuales se recuperaba y se empleaba nuevamente.

- Minería de socavón a gran escala: Este tipo de minería se observó en el municipio de Zaragoza Ant, veredas la Ye y Mangos, donde se encontró que se realizan actividades similares a la de cielo abierto formal, en cuanto a la formalización de la unidad productiva, parte legal de obtención de los permisos requeridos según la normatividad colombiana, una vez obtiene la licencia de exploración, que realiza la prospección hasta un kilómetro (1000 metros) de profundidad en busca de las rocas que contienen el metal precioso, y una vez encuentran las vetas de oro con cantidades suficientes como se aprecia en la figura 5-16, proceden con la solicitud de los permisos para la extracción.

Figura 5-16: vetas de oro en minería subterránea. A. Veta o filo de oro al interior de la roca, 300 m de profundidad desde la superficie; B. Veta o filo de oro donde se aprecia el metal precioso la visita.



Se encontró que con respecto a la minería a cielo abierto aluvial, la minería de socavón busca las reservas al interior de la roca (subsuelo) como se puede apreciar en la figura 5-17, donde se retira con explosivos y el material se saca a superficie para su proceso, y allí se le tiene que hacer molienda a la roca y pasarla por un proceso físico químico en el que se emplea cianuro para el beneficio del oro y el material sobrante se lleva a un pozo de vertimiento como se muestra en un proceso previo de remediación, inhibiendo el cianuro con peróxido de hidrogeno y sulfato de cobre.

Figura 5-17: piscina de residuos industriales de la molienda de la roca en minería aurífera subterránea



En la mina visitada Operadora Minera S.A.S, en la vereda la Ye, se encontró que cuenta con más de 150 empleados directos en el proceso, con turnos de 8 horas diarias, se trabaja las 24 horas continuas, y cumple con los requisitos de ley en cuanto a seguridad industrial, prestaciones sociales y contratación laboral.

En la tabla 5-2 se presentan los resultados de la segunda fase, que se hizo para conocer la minería formal a cielo abierto y subterránea, en los municipios de Nechí y Zaragoza, y se comparó el proceso de recuperación de las parcelas desde 0, 1, 2, 5, 8 y 15 años.

Tabla 5-2: Características de los sitios considerados en el diagnóstico para evaluar las actividades realizadas en el proceso de extracción formal de oro en la región del Bajo Cauca Antioqueño

-Edad de recuperación en años (ER): 0, 1, 2,15

Municipio	Vereda	ER	TP	Tm Exp	AE	HE	PT	ESP	UMCP	Textura	ARS
El Bagre	Sabalito-Sinaí	0	A	GM	R	AGT	MF	NFE	NUs	A	RR
El Bagre	Sabalito-Sinaí	1	A	GM	R	AGT	MF	NFE	NUs	A	RR
El Bagre	Boca -La Llama	2	A	GM	A	AGT	MF	NFE	NUs	A	RR
El Bagre	Boca -La Llama	5	A	GM	A	AGT	MF	NFE	NUs	A	RR
El Bagre	La Cinco	8	A	GM	A	AGT	MF	NFE	NUs	A	RR
El Bagre	La Cinco	15	A	GM	A	AGT	MF	NFE	NUs	A	RR
Zaragoza	La Ye	0	S	GM	A	AGT	MF	NFE	US	AL	RR
Zaragoza	Los Mangos	0	S	GM	A	AGT	MF	NFE	US	AL	RR

- **Tipo de explotación (TP)** : Tipo de explotación minera (**A**: Aluvial; **C**:coluvial; **S**: socavón; **CA**: coluvio aluvial), **NS**: No se sabe.
- **Tamaño de la explotación (Tm. Exp) (T exp.:** (**Ar.**: Artesanal, **PM**: Pequeña minería; **MM**: Mediana minería; **GM**: Gran Minería. **NS**: No se sabe.
- **Antigüedad de explotación (AE)**:An: antigua; **R**: reciente, **Ac**: actual, **NS**: no se sabe
- Herramientas y equipos (HE)**: S: simples; Pmt: pequeños motores; Daa: Draga artesanal; B y M: buldócer y otras máquinas; **AGT**: Alto grado tecnológico. **NS**: No se sabe.
- **Poseción de títulosmineros (PT)**: **MF**: Minería formal ;**M**Minería informal; **EPL**: en proceso de legalización; **NS**: No se sabe.
- **Estado del Suelo posminero (ESP)**: FE: Forma estructura, NFE: no forma estructura; EI: Estructura incipiente. **NS**: No se sabe.
- Uso de mercurio y compuestos peligrosos (UMCP)**:**US**: Usa seguido; **Uexp**: Uso esporádico; **NUs**: no usa; **NS**: no se sabe.
- Textura: **A**: arenosa, **L**: Limosa; **Ar**: Arenosa; **AL**: areno limosa; **AAr**: areno arcillosa; **ALAr**: areno limo arcillosa; **NS**: no se sabe
- Actividades de remediación y rehabilitación de suelos (ARS)**: **RR**: realiza remediación; **NRR**: no realiza remediación.

5.2.2 Estado como queda el suelo posterior a la extracción aurífera de la minería a gran escala formal, en la región del Bajo Cauca Antioqueño.

De esta minería a gran escala, en la Aluvial a cielo abierto, se encontró que por el grado tecnológico y el tipo de maquinaria que emplea, extrae materiales de una profundidad de hasta 30 metros, como se puede ver en la figura 5-18. En los pasos previos al dragado, todo el material de superficie se debió remover, para buscar el oro a esas profundidades, lo cual se realiza mediante otros equipos de alta capacidad de trabajo.

Figura 5-18: Equipos de dragado de alto grado tecnológico, en minería aluvial a cielo abierto. A. Dragón para romper suelo y eliminar material vegetal del suelo; B. Brazo de draga industrial; C. Draga industrial de cucharas para extracción aurífera aluvial a profundidad.



Estado del suelo posminero (ESP):

Textura y estructura: la operación mencionada a cielo abierto, genera unos materiales del lavado que se depositan en superficie, los cuales según las mediciones y observaciones, consisten en materiales gruesos compuestos por texturas indeterminadas como rocas y gravas denominados en esta industria “carguero” (Figura 5-19A) y otros de menor tamaño denominados relleno hidráulico (Figura 5-19B), los segundos están compuestos por arenas, escombros y ocasionalmente limos y/o arcillas. Ambos materiales

no presentan agregación, ni forman estructura, por consiguiente, no corresponden a suelos.

En los materiales industriales salidos de la molienda en la minería subterránea se encontró que en estos, la textura correspondía a arenas finas y a limos, no se presenta agregación y no son materiales edafológicos, por consiguiente, no corresponden a suelos, pero son depositados en los suelos.

De las consultas y mediciones realizadas en los análisis de campo se encontró que esta minería a gran escala, la que es a cielo abierto no usa mercurio en su beneficio, la minería industrial de socavón emplea como elemento peligro el cianuro en su proceso.

Figura 5-19: Material del proceso industrial de minería a cielo abierto formal a gran escala. A. Material industrial posminero, denominado carguero; B. Material industrial posminero, denominado relleno hidráulico.



En síntesis: los suelos posmineros en la minería a gran escala aluvial a cielo abierto, quedan convertidos en materiales lavados, en algunos casos compuestos por rocas, escombros, gravas, arenas, entre otros (figura 5-19A), por su parte los materiales provenientes de minería subterránea, son materiales de molienda industrial de la roca que requieren un tratamiento previo para ser depositados en lagunas de decantación en el suelo, y tampoco corresponden a suelos.

5.2.3 Actividades de rehabilitación y/o fitorremediación realizadas en áreas de extracción aurífera de la minería a gran escala formal, en la región del Bajo Cauca Antioqueño

En los recorridos realizados en esta minería a gran escala formal, como se puede apreciar en la tabla 5-2, se encontró que estos realizan labores de remediación de suelos en el marco de los planes de manejo y recuperación ambiental, dirigidos a la mitigación y compensación.

En cuanto a los planes de manejo, se encontró que la empresa anfitriona realiza sus labores de rehabilitación de las áreas intervenidas, empezando con la adecuación de los terrenos, que incluye un perfilado o nivelado para aplanar los montículos y tapar los huecos (cráteres) dejados en la operación (figura 5-20A), posterior a ello, se realiza un trazado de surcos y marcación de la distancia para la siembra de las especies vegetales, se hace el ahoyado y por último se realiza la siembra de las especies elegidas. Para la siembra se emplea un protocolo que consiste en adicionar por sitio de siembra materia orgánica compostada en cantidades superiores a 20 kilogramos por planta si se trata de árboles o arbustos, si es una planta rastrera, se emplea menor cantidad, se emplea hidroretenedores en el fondo del hueco de siembra, y se adiciona fertilizantes químicos granulados compuestos con macro y micronutrientes y realiza la siembra, posterior a esta, se hacen labores de mantenimiento y fertilización para favorecer el crecimiento de los vegetales.

Por parte del equipo técnico de la empresa, se informó que el objetivo con la siembra de las especies vegetales es proveer una fitorremediación desde la parte física, biológica, orgánica y química, mediante el aporte de materia orgánica, estabilización de los materiales posmineros mediante sus raíces, control de erosión hídrica y eólica, albergue de otras especies tanto vegetales como animales, y por último que pueda permitir la realización de actividades de sostenimiento para algunas personas, por lo cual se empieza por sembrar semillas o material vegetal de las especies *Pueraria phaseoloides* -Cudzú (ver figura 5-20B) y *Mucuna deeringiana*, y se favorece o que aparezcan plantas de distribución natural, las cuales, en el presente estudio no se alcanzaron a describir, ni cuantificar. El programa de fitorremediación en la actualidad no contempla el uso de especies con fines de absorción de metales pesados o elementos contaminantes.

Figura 5-20: Adecuación de suelos posmineros y siembra de cobertura rastrera. (Nechi Antioquia). A. Perfilado de materiales posmineros en minería formal a gran escala. B. Cobertura vegetal de suelos posmineros con cudzu.



Según la empresa, en el programa posterior a la siembra de las especies para cobertura terrestre, se procede con la siembra de plantas arbóreas, entre las que se reportó que se ha empleado con éxito la *Acacia mangium* (Ver figura 5-21A), *Hevea brasiliensis*, (Figura 5-21C), *Jatropha curcas* (Figura 5-21B) y otras.

Figura 5-21: Especies arbóreas y forestales empleadas para fitorremediación de suelos posmineros. A. Remediación de suelos con *Acacia mangium*; B. Remediación de suelos con *Jatropha curcas*; C. remediación de suelos con *Hevea brasiliensis*.



Para la fecha del presente estudio, la empresa informó por medio del equipo responsable del programa de remediación, que las actividades están dirigidas a la colecta, multiplicación y siembra de especies nativas o comunes que habitaban las zonas (antes de la intervención), para lo cual están trabajando con las especies ya identificadas por ellos como *Inga spuria* (guamos), *Leucaena leucocephala* (leucaena), *Samanea saman* (samán), *Erythrina* sp (árbol del coral), *Enterolobium cyclocarpum* (orejero), *Guazuma ulmifolia* (Guácimo), *Spondias mombin* (jobo), *Artocarpus altilis* 8bolombolo, árbol del pan) y otras.

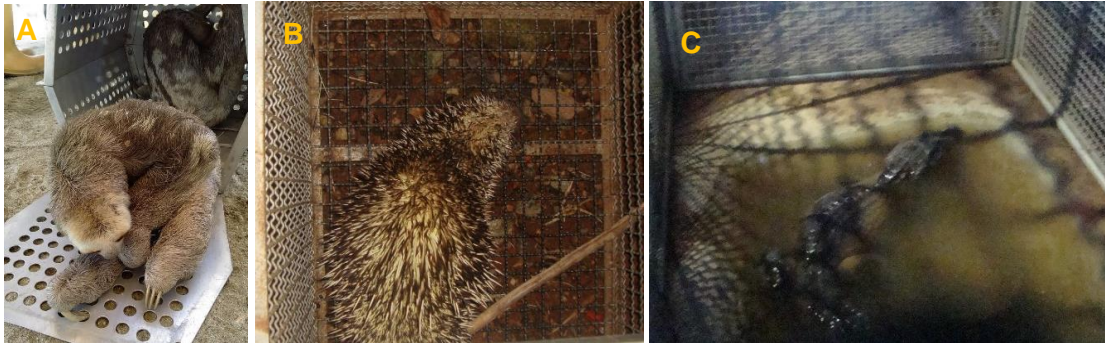
De los recorridos en esta minería a gran escala, se encontró que en el marco del programa de remediación, mitigación y compensación, la empresa anfitriona le asigna a una familia con alguna situación de vulnerabilidad (situación precaria) una parcela en proceso de rehabilitación de una extensión que puede variar desde 7 hectáreas hasta 16, en esta se construye en conjunto (familia-empresa) una vivienda (Figura 5-22A) y se asigna por parte de la empresa un subsidio por los primeros tres años correspondiente a un salario mínimo mensual vigente (s.m.l.v), con el compromiso que durante estos primeros años, la familia debe empezar a realizar labores que le permitan a autosostenerse una vez no tenga el subsidio, por lo cual fue frecuente encontrar que las familias realizan en los suelos posmineros en restauración, agricultura, apicultura, piscicultura, ganadería, reforestación, entre otras, como se muestra en la figura 5-22B.

Figura 5-22: Labores de restauración en parcelas posmineras. A. Vivienda construida en parcela de recuperación o restauración; B. Agricultura en parcela de restauración posminera.



También se encontró que como parte del programa de manejo ambiental en las actividades previas al proceso de extracción, con el fin de disminuir y/o mitigar el impacto ambiental negativo generado tras las intervención minera, se realiza extracción de semillas y material vegetal de especies, para multiplicarlas en vivero y sembrarlas en las parcelas en proceso de rehabilitación, a nivel de fauna, se encontró que tienen un programa de ahuyentamiento de especies, rescate y reubicación de fauna silvestre como se puede apreciar en la figura 5-23.

Figura 5-23: Rescate de fauna silvestre para liberarla en zonas sin intervención o en proceso de restauración. A. Oso perezoso rescatado en la operación minera; B. Erizo rescatado en operación minera; C. Caimán o babilla rescatado en operación minera.



En el programa de remediación de suelos de esta minería, se encontró que en las parcelas de recuperación (restauración, rehabilitación) se van dando algunos cambios cronológicos en la composición nutricional de los suelos, como se ilustra en la tabla 5-3.

Tabla 5-3: Composición nutricional de los suelos en las algunas parcelas en recuperación, de la extracción formal de oro en la región del Bajo Cauca Antioqueño.

Municipio	Vereda	EP	pH	CE	MO	cmolc kg ⁻¹						ppm ó mg kg ⁻¹						
						Al	Ca	Mg	K	Na	CIC	P	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
El Bagre	Sabalito-Sinaí	0	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
El Bagre	Sabalito-Sinaí	1	6.5	0.01	0.02	NS	0.37	0.58	0.03	NS	1	10	NS	14	3	1	1	NS
El Bagre	Boca-La Llama	2	5.9	0.01	0.1	NS	0.24	0.17	0.03	NS	0.4	6	NS	5	2	0.5	1	NS
El Bagre	Boca-La Llama	5	5.6	0.12	0.33	NS	0.61	0.43	0.05	NS	1.1	7	NS	22	3	1	1	0.1
El Bagre	La Cinco	15	5.1	0.08	3.9	0.4	2.1	2.3	0.10	NS	4.9	9	NS	248	11	4	3	0.1

- Edad parcela en años (EP) años: 0, 1, 2...15 años. NS: no se sabe. - Potencial de hidrogenión (pH): 0, 2, 3,...14. NS: no se sabe
 - Conductividad eléctrica en dSm-1 (CE):0, 1, 2, 3,..., NS: no se sabe. -Materia orgánica en % (MO): 0, 1,3...NS: No se sabe.
 -Aluminio (Al): 0, 1, 3,...., NS: No se sabe ó no se encontró. -Calcio (Ca): 0, 1, 3,...., NS: No se sabe ó no se encontró. -Magnesio (Mg): 0, 1, 3, NS: No se sabe ó no se encontró. -Potasio (K): 0, 1, 3., NS: No se sabe ó no se encontró. -Sodio (Na): 0, 1, 3., NS: No se sabe ó no se encontró.
 -Capacidad de intercambio catiónico (CIC): 0, 1, 3,...., NS: No se sabe ó no se encontró. -Fosforo o fosfatos (P): 1, 2,... NS: No se sabe
 -Azufre o sulfatos (S): 1, 2,... NS: No se sabe ó no se encontró. -Hierro (Fe): 1, 2, NS: No se sabe ó no se encontró.
 -Manganeso (Mn): 1, 2, NS: No se sabe ó no se encontró. -Cobre (Cu): 1, 2, NS: No se sabe ó no se encontró.
 -Cinc (Zn): 1, 2, NS: No se sabe ó no se encontró. -Boro (B): 1, 2, NS: No se sabe ó no se encontró.

De las muestras de suelos (*sustratos*) para análisis nutricional, tomadas en distintos sitios que habían sido intervenidos por minería aurífera a gran escala y que se encontraban en

proceso de rehabilitación, se encontró que algunos parámetros de mayor relevancia a nivel de fertilidad de suelos como son materia orgánica (MO), pH, fósforo (P), calcio (Ca), capacidad de intercambio catiónico (CIC), y otros, sus valores varían de acuerdo a la edad de recuperación, como se puede observar en la tabla 3, el valor de pH en las parcelas recién intervenidas es ligeramente ácido, como se presenta en la parcela de un año de recuperación, donde el valor fue de 6.5, mientras que en la parcela de dos años, el pH fue de 5.9, la de cinco años el pH fue de 5.6 y en la 15 años de recuperación el valor de pH fue de 5.1, el cual se clasifica como muy ácido, esto se podría interpretar como que a medida que va transcurriendo el tiempo, el suelo (sustrato) se va acidificando, una posible causa podría ser por el aporte de ácidos orgánicos de la materia orgánica en descomposición por acción microbial (Figuras 5-24A y 5-24B). Por el contrario, la cercanía a la neutralidad en el pH de los sustratos recién intervenidos, se podría obedecer al lavado de las bases en el proceso de extracción de oro, entre ellas el aluminio (Al), el cual es uno de los mayores causantes de acidez en los suelos.

Figura 5-24: Aporte de materia orgánica y actividad de descomponedores de la misma. Parcela de 15 años en recuperación. A. Hongos descomponedores de la materia orgánica, parcela de 15 años de recuperación; B. Hongos descomponedores de la materia orgánica, parcela.



Con respecto a las bases intercambiables, en las parcelas con menor edad de recuperación, se encontró que el calcio es menor y viceversa, por ejemplo, la parcela de 15 años con $3.7 \text{ cmolcCa kg}^{-1}$ suelo, contiene cinco veces más calcio que la de un año de recuperación con $0.21 \text{ cmolcCa kg}^{-1}$ suelo, esto se podría deber a la descomposición de materia orgánica. Respecto al calcio, a nivel de agricultura se maneja un rango que puede variar entre $2-4 \text{ cmolc kg}^{-1}$ suelo, por consiguiente la concentración que se presenta en la parcela de 15 años estaría en ese rango. Respecto al magnesio, también está cuatro veces más concentrado en la parcela 15 que la uno. Incluso el rango que se maneja en agricultura

para este varía entre 1-2 $\text{cmolcMg kg}^{-1}\text{suelo}$, y la parcela 15 lo contiene en 2.3, es decir por encima del nivel de referencia para agricultura.

El potasio por su parte, está más de tres veces por encima la parcela de 15 años respecto a la de un año. Para este el nivel que se maneja varía entre 0.3-0.6 $\text{cmolcK.kg}^{-1}\text{suelo}$, y valor de la parcela más antigua está en 0.1 $\text{cmolcK.kg}^{-1}\text{suelo}$, es decir que aunque la concentración es más alta las parcelas más recientes, aún sigue por debajo del nivel de referencia.

En cuanto al sodio (Na), no se presentó, posiblemente por los lavados a los que son sometidos estos suelos.

El aluminio (Al), solo se presentó en la parcela más antigua, este está directamente relacionado con el pH ácido, por lo cual a medida que su concentración se va aumentando, el pH se va acidificando (potencial o concentración de iones hidrógeno).

En cuanto a la capacidad de intercambio catiónico (CIC), por las condiciones físicas y químicas con las que queda el suelo posterior al lavado, este valor por lo general es muy bajo, es decir que los suelos posmineros quedan con muy baja capacidad de retener y/o almacenar cationes, los cuales se pueden escurrir o lavar fácilmente, sin embargo, comparando entre las parcelas, la de 15 años tiene capacidad más de cuatro veces que la un año de recuperación, esto se podría deber a los contenidos de la materia orgánica en dicha parcela.

En cuanto a los valores de materia orgánica (MO), se pueden constatar en los valores de los análisis de suelos, que a medida que transcurre el tiempo de recuperación, el contenido va aumentando, ya que en las parcelas de 1, 2, 5, y 15 años de restauración, los valores obtenidos para MO fueron 0.02%, 0.1%, 0.33% y 3.9% respectivamente, donde se puede observar el mayor contenido en la parcela de 15 años, con un contenido de 3.9%, y según valores de referencia para agricultura con las condiciones climáticas que se presentan en esa zona, valores iguales o superiores a 2% ($\geq 2\%$) son altos y/o adecuados para la mayoría de cultivos, por consiguiente el sustrato en dicha parcela, se podría interpretar como muy rico en materia orgánica, entendiendo que la minería aurífera lava y elimina la materia orgánica, por consiguiente ésta se ha podido restaurar en el tiempo con fitorremediación, como lo muestra la parcela de 15 años en recuperación, como se ilustra en la figura 5-25. Por consiguiente, se podría inferir que la acidificación del sustrato o

disminución en el pH, está relacionado con el aporte de materia orgánica (inversamente proporcional), y también se podría asumir que los aportes de materia orgánica están directamente relacionados con los aportes de calcio, magnesio y potasio. A su vez la CIC del sustrato puede ser afectada positivamente por la materia orgánica.

Figura 5-25: Crono-secuencia de rehabilitación de suelos posmineros mediante fitorremediación. (El Bagre Antioquia). A: Parcela de un año de recuperación; B. Parcela de dos años de recuperación; C. Parcela de tres años de recuperación; D. Parcela de cinco años de recuperación; E. Parcela de siete años de recuperación y F. Parcela de quince años de recuperación.



En cuanto al contenido de fosfatos o fósforo (P) en los suelos posmineros en proceso de restauración, no se encontró una relación directa con la edad de recuperación, ya que las parcelas de uno, dos, cinco y 15 años, presentaron valores de P en $\text{mg.kg}^{-1}\text{suelo}$ de 10, 6,

7 y 9 respectivamente, por lo cual no se aprecia diferencia en la edad de recuperación, incluso el valor de P en la parcela con menor edad, dio un poco más alto que las parcelas de mayor edad. Sin embargo, los contenidos en los que se pretende tener este elemento nutricional en agricultura, aunque varía de acuerdo al tipo de suelo, a las especies vegetales, a las etapas fenológicas, entre otras, es que esté en el suelo $\geq 10 \text{ mg.kg}^{-1}$ suelo (ppm), y en las parcelas de recuperación se puede apreciar que los niveles están dentro o muy cerca del contenido anhelado en agricultura. Lo anterior se podría atribuir a causas diferentes al aporte de la materia orgánica, entre las que podría estar el aporte de los cuerpos de agua, los sedimentos, la mezcla de materiales, entre otros.

De los elementos menores o micronutrientes, se encontró que guardan una estrecha relación proporcional entre la edad de recuperación y el contenido de estos, particularmente el hierro (Fe), el cual en la parcela de un año de recuperación se encontró en una concentración de 14 ppm, mientras que en la de 15 años se encontró un contenido de 248 ppm, los demás micronutrientes, aunque no se presentaron un nivel tan elevado como el del Fe, si están por encima en la parcela de 15 años, respecto a las parcelas de menor edad, incluso en las parcelas de cinco y 15 años se presentó boro en contenidos de 0.1 ppm en cada una, mientras en las otras no se presentó este elemento nutritivo.

Por último, a nivel de crecimiento vegetal en las parcelas de recuperación, se pudieron apreciar los cambios que se van dando, hasta el punto que en la parcela de recuperación de 15 años se presenta un alto repoblamiento vegetal de diferentes especies (Figura 5-26), y por consiguiente un elevado aporte de materia orgánica, lo cual es sorprendente debido a las condiciones en las que queda el suelo después del proceso minero, lo cual a diferencia de lo reportado por Abakumov *et al.* (2013), quienes afirman que las diferencias entre las poblaciones vegetales espontáneos y los sitios plantados artificialmente se dan a los 40 años, en este caso se pueden observar esta situación 15 años después de iniciado el proceso de restauración (Figura 5-26). Ello muestra una alta capacidad de recuperación o de **resiliencia** del suelo en esa zona, la cual a su vez es conferida por los factores bióticos y abióticos, como humedad relativa, precipitación, temperatura, aire, acción microbiana dentro y sobre el suelo, acción biológica de plantas, aves, insectos, reptiles, entre otros, hasta el punto que gracias a la fitorremediación favorecida por las personas y realizada por los agentes naturales, le permite a los sustratos estabilidad y llegar a formar tecnosuelos (Figura 5-26B), ya que cumple con las características que expone Lehmann (2006).

c



En el estudio, se encontró que los cuerpos de agua de la zona realizan algunos aportes de nutrientes a los suelos en recuperación, los cuales pueden llegar a ser importantes para restablecer los ciclos de algunos nutrientes y luego quedar disponibles para las plantas y otros organismos, además de las funciones biológicas, físicas, químicas y orgánicas del ciclo hidrológico. En las muestras tomadas de fuentes cercanas a las parcelas en remediación -aunque no en todas fue posible ya que no todas tenían fuentes de agua cerca, se encontró que aunque no realizan aportes nutricionales cercanos a los niveles empleados por las aguas de fertirriego en agricultura, si hay aportes. En el pH de dichas

aguas se pudo observar una tendencia a la neutralidad o medianamente alcalinidad, a excepción de la muestra toma en cercanías a la parcela de un año de recuperación, en las demás muestras, este parámetro mostró valores neutros o medianamente alcalinos, dichos valores, lo cual se podría deber a aportes de bases del suelo mediante sedimentos, restos orgánicos (vegetales y animales), desechos urbanos, entre otros. Sin embargo, se pudo observar que este parámetro no varió de acuerdo a la edad de recuperación de las parcelas, ya que los cuerpos de agua de donde se tomaron las muestras, correspondían a fuentes de agua en movimiento (no estáticas), que permanente estaban bañando las zonas de influencia. En la tabla 5-4, se puede apreciar los valores en composición nutricional de algunas fuentes de agua cercanas a las parcelas.

Tabla 5-4: Contenidos nutricionales de algunas fuentes de agua cercanas a las parcelas de recuperación

Identific:	Ca	Mg	K	Na	SO ₄ ⁻²	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl	pH	C.E. mS cm ⁻¹
	meqL ⁻¹									
Muestra 1 Nechi)	0,12	0,19	0,04	0,15	0,50		0,38	0,05	5,8	0,05
Muestra 2 Nechi)	0,89	0,26	0,09	0,60	0,06		1,79	0,40	7,2	0,25
Muestra 3 Viejo)	0,34	0,19	0,03	0,16	0,07		0,61	0,08	7,0	0,07
Muestra 3	0,10	0,15	0,02	0,16	0,4		0,27	0,05	6,2	0,04
Muestra 4	0,86	0,25	0,08	0,63	0,07		1,8	0,43	7,5	0,25

Muestra 1: parcela de un año de recuperación
 Muestra 2: parcela de dos años de recuperación
 Muestra 3 viejo: parcela de cinco años de recuperación
 Muestra 3: sitio de dragado de draga industrial
 Muestra 4: parcela de 15 años de recuperación

De los análisis nutricionales de aguas, también se puede apreciar que estas hacen aportes a los suelos de Calcio (Ca) que varía de 0.1 meq L⁻¹ hasta 0.89 meq L⁻¹ dando los mayores valores en las parcelas de dos y de 15 años de recuperación, lo cual indica que los valores de esta base (catión) en las fuentes de agua que se midió, tampoco fueron dependientes de la edad de recuperación de las parcelas, lo mismo se pudo observar con los otros cationes como Magnesio (Mg), Potasio (K) y Sodio (Na), de los cuales sus contenidos no fueron dependientes de la edad de recuperación de las parcelas. Por otro lado, en los sulfatos (SO₄²⁻), los bicarbonatos (HCO₃⁻), los cloruros (Cl) y la conductividad eléctrica

(CE), se encontró que los contenidos de estos en los cuerpos de agua, tampoco dependían de la edad de rehabilitación de las parcelas.

6. Conclusiones

6.1 Actividades realizadas en el proceso de extracción de oro en la subregión del Bajo Cauca antioqueño

Se encontró que en todos los sitios visitados de la primera fase, la minería artesanal, pequeña y mediana escala, realizan las mismas actividades en el proceso de extracción del oro, a saber: cateo, arranque de materiales, lavado, recorte o beneficio y amalgamación con mercurio.

Se pudo constatar que la minería artesanal, a pequeña y mediana escala, se realiza principalmente de manera informal, ya que de 29 sitios visitados, solo en dos estaban en proceso de formalización, es decir el 93.1% de esta minería se desarrolla por fuera de la ley.

También se encontró que el 92.9% de los mineros artesanales buscan realizar su labor en las zonas donde están los mineros de mediana y pequeña escala, una de las razones es porque pueden tener acceso a materiales de mina que poseen mayores contenidos del metal precioso.

Y en el desarrollo de este objetivo, se pudo constatar que la minería a cielo abierto a gran escala formal, difiere de las anteriores porque en sus actividades hay una alta inversión en prospección, solicitud de los permisos de ley para ejercer la labor, y planes de manejo posminero.

6.2 Descripción del estado del suelo posterior a la extracción aurífera

En la minería aurífera a cielo abierto a mediana y gran escala, se remueven, mezclan y/o eliminan los horizontes superficiales del suelo, además realizan un proceso de lavado

severo, por lo cual el material resultante es un sustrato inerte compuesto por rocas, gravas, escombros y arenas.

De los sitios visitados, la minería a mediana y pequeña escala, fue la que con mayor frecuencia se encontró, con mayor número de personas y se pudo observar que es la que mayor área intervenida abarca y mezcla más materiales.

La minería artesanal fue la que abarca menor área y a menor profundidad, trabaja en el suelo, por consiguiente, es la que menor daño causa en éste.

Se encontró que en la minería aluvial artesanal, pequeña, mediana escala y a gran escala informal, el 100% usa el mercurio para amalgamar, sin ninguna precaución ni elementos de protección. En contraste, se encontró que la minería aluvial a gran escala formal visitada, no usa este elemento.

Para terminar de concluir el desarrollo de este objetivo, se encontró que, en la minería de socavón a gran escala formal visitada, el mayor problema que se presenta a nivel de suelos, está relacionado con los materiales industriales residuales de la molienda, los cuales se depositan en piscinas en la superficie del suelo, lo cual ocasiona un reto a resolver.

6.3 Actividades de rehabilitación o fitorremediación realizadas en los sitios de extracción aurífera considerados en el estudio

De los sitios visitados en la primera fase, se encontró que los únicos que esporádicamente realizan labores de remediación de suelos posterior a la minería, son los propietarios de los predios, los demás no realizan manejo de suelo alguno.

En la minería aurífera formal a gran escala visitada, aunque se encontró que causa mayor “desertización” de suelos, tiene un programa de manejo de suelos posmineros con fitorremediación con el que se pretende mejorar los factores físicos, químicos, orgánicos y biológicos del sustrato.

También se pudo concluir, que en los suelos degradados por minería aurífera, se pueden hacer planes de rehabilitación con programas y políticas fuertes que incluyan a la

comunidad, lo cual puede llegar a ser alternativas de desarrollo para las regiones afectadas por esta actividad.

Así mismo, se pudo constatar que en la zona del Bajo Cauca, los suelos degradados por minería aurífera, con un programa de fitorremediación, pueden llegar a formar tecnosuelos estables en 15 años de transcurrido el programa, lo cual se podría deber a la acción microbial, a los aportes de la materia orgánica vegetal que facilita el ciclo biogeoquímico de los nutrientes y a las condiciones climáticas de la zona.

Por último, se encontró que los contenidos nutricionales de las aguas que bañan las parcelas de recuperación posmineras, no están influenciadas por la edad de rehabilitación de las mismas, si no por factores externos a dichas parcelas.

7.Recomendaciones

Debido al uso indiscriminado del mercurio (Hg) en la subregión del Bajo Cauca, y ya que en algunos suelos posmineros se realizan actividades como ganadería, agricultura, piscicultura, entre otras, que son para consumo de las personas, se recomienda hacer pruebas de elementos o compuestos potencialmente tóxicos, particularmente mercurio y cianuro en tejido vegetal, animal (o sus derivados) y en aguas, con el fin de conocer sus niveles y evitar potenciales riesgos para las personas.

Se recomienda buscar estrategias y puentes de acercamiento entre el estado y los responsables de la minería informal, con el fin de acordar planes de trabajo conjuntos que permitan la extracción del mineral de manera formal, donde se pongan en práctica planes de trabajo integrales que incluyan la parte ambiental, así como protocolos de seguridad y de salubridad para las personas.

Entre los planes que se podrían implementar para manejar las miles de hectáreas de suelos degradados por minería aurífera en el Bajo Cauca, se recomienda la reforestación, el “ecoturismo” e incluso la agricultura y la ganadería, siempre y cuando se haga un acompañamiento integral, que parta de conocer los niveles de elementos contaminantes y la vinculación de la comunidad.

Se recomienda hacer otros estudios para profundizar en el conocimiento de este tipo de suelos (sustratos), particularmente se considera necesario conocer la flora microbial y la materia orgánica, ya que sorprende los altos contenidos de esta última en la parcela de 15 años de recuperación.

Para conocer el estado nutricional de las aguas en la zona y su aporte a los suelos, se recomienda hacer muestreos en distintas épocas del año, ya que ello puede influir en la composición y aporte de nutrientes a los suelos. También se recomienda instalar piezómetros

en las parcelas de rehabilitación con el fin de conocer la composición nutritiva del agua al interior de los suelos (sustratos).

Bibliografía

- Abakumov, E. V., Cajthaml, T., Brus, J., & Frouz, J. (2013). Humus accumulation, humification, and humic acid composition in soils of two post-mining chronosequences after coal mining. *Journal of Soils and Sediments*, 13(3), 491–500. doi: 10.1007/s11368-012-0579-9
- Asoc. Ecol. Costarricense - Amigos de la Tierra. (2007). Minería de oro a cielo abierto y sus impactos ambientales. *Ecoportal.net*, 1–16. Retrieved from http://www.ecoportal.net/Temas_Especiales/Mineria/Mineria_de_oro_a_cielo_abierto_y_sus_impactos_ambientales
- Bates, R.L. and Jackson, J.A. (1980). Glossary of geology. Second edition. Virginia: American Geological Institute. 751 p.
- Bhuiyan, M. A. H., Parvez, L., Islam, M. A., Dampare, S. B., & Suzuki, S. (2010). Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. *Journal of Hazardous Materials*, 173(1–3), 384–392. doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.08.085
- Buezo de Manzanedo Duran, (2005). *La minería de oro artesanal en el Perú vista desde un enfoque organizacional*. Tesis de Maestría. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Campuzano-Cuartas, R. (2011). Bibliografía de la historia minera colombiana: balance y perspectivas. *Repositorio Institucional UN*, 27–55. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/23355/>
- Carpena, R. O., & Pilar, B. (2007). Fitorremediación de suelos contaminados Claves de la fitorremediación : fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Ecosistemas*, 16(2), 1–3.

- Carpenter, F. L., Nichols, J. D., & Sandi, E. (2004). Early growth of native and exotic trees planted on degraded tropical pasture. *Forest Ecology and Management*, 196(2–3), 367–378. doi: 10.1016/j.foreco.2004.03.030
- Castellanos-Barliza, J., & León, J. D. (2011). Descomposición de hojarasca y liberación de nutrientes en plantaciones de *Acacia mangium* (Mimosaceae) establecidas en suelos degradados de Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 59(1), 113–128. <https://doi.org/10.15517/rbt.v59i1.3182>
- Cifuentes, Y. C. (2012). Agencia Latinoamericana de Información. Obtenido de <http://alainet.org/active/56324&lang=es>
- CONTRALORIA GENERAL DE LA NACION. (2013). *Minería en Colombia: derechos, políticas públicas y gobernanza*. Retrieved from http://www.contraloria.gov.co/documents/20181/472306/01_CGR_mineria_I_2013_comp.pdf/40d982e6-ceb7-4b2e-8cf2-5d46b5390dad
- CORANTIOQUIA-UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA. 2014. Plan De Manejo Ambiental Del Sistema Acuífero Del Bajo Cauca Antioqueño. Tomado de: <http://www.corantioquia.gov.co/sitios/ExtranetCorantioquia/Documentos%20compartidos/Informe%20Final%20OPMAA-Bajo%20Cauca-Fase%20II.pdf>
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CENTRO DE ANTIOQUIA - CORANTIOQUIA. (2005). CARACTERIZACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LAS ÁREAS DEGRADADAS EN LA TERRITORIAL PANZENÚ. Retrieved from http://www.corantioquia.gov.co/sitios/ExtranetCorantioquia/ciadoc/SUELO/AIRNR_CN_5682_2004.pdf
- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CENTRO DE ANTIOQUIA - CORANTIOQUIA. (2005). Caracterización Y Cuantificación De Las Áreas Degradadas En La Territorial Panzenú. Retrieved from http://www.corantioquia.gov.co/sitios/ExtranetCorantioquia/ciadoc/SUELO/AIRNR_CN_5682_2004.pdf
- Defensoría del Pueblo Colombia. (2010). *Minería de Hecho en Colombia*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia. 283 p.

- Defensoría del Pueblo Colombia. (2015). *La minería sin control: Un enfoque desde la vulneración de los derechos humanos*. Tomado de: <file:///D:/Users/personal/Desktop/Avance%20Enero%202018/defensoria%20del%20pueblo%202015.pdf>
- Defensoría del Pueblo Colombia. (2016). *La minería sin control. Un enfoque desde la vulneración de los derechos humanos*. Recuperado de <http://www.defensoria.gov.co/public/pdf/InformedeMinerla2016.pdf>
- Durango, J. V., Marrugo N., J. L., Jaramillo C, B., & Perez C, L. M. (2010). Remediación de suelos contaminados con mercurio utilizando guarumo (*Cecropia peltata*). *Ingeniería & Desarrollo*. Universidad del Norte. 27, 113-129.
- Dutta, R. K., & Agrawal, M. (2001). Litterfall, litter decomposition and nutrient release in five exotic plant species planted on coal mine spoils. *Pedobiología*, 45(4), 298–312. doi: 10.1078/0031-4056-00088
- Dutta, R. K., & Agrawal, M. (2003). Restoration of opencast coal mine spoil by planting exotic tree species: A case study in dry tropical region. *Ecological Engineering*, 21(2–3), 143–151. doi: 10.1016/j.ecoleng.2003.10.002
- GRUPO MINEROS SA. (2014). *Operación subterránea*. Tomado de: <http://www.mineros.com.co/es/operaciones/operacion-subterranea>
- Guiza S. L.; Rodriguez B. C.; Moreno S. S.; Del Valle M. E. y Ipenza P. C. (2016). *Actualidades y desafíos del derecho minero en Colombia*. Bogotá: Ed. Universidad del Rosario. 700 p.
- Hentschel, T., Hruschka, F. & Priester, M. (2002). “*Global report on artisanal and small-scale mining. Mining, minerals and sustainable development*. Report No. 70. London: International Institute for Environment and Development.
- Herrera, J. S. (2012). Serranía de San Lucas, un oasis condenado a morir. Archivo EL TIEMPO (21 de spbre, 2012).
- Hincapié, U. (2006). *Diagnóstico para la implementación de sistemas de gestión ambiental en el dtrito minero Segovia - Remedios*. Medellín: Gobernación de Antioquia.

- INGEOMINAS, REGIONAL MEDELLÍN (1985). *Análisis de los efectos ocasionados por las explotaciones auríferas en la zona de Zaragoza-El Bagre, Cuturu*, departamento de Antioquia. Bogotá: Ingeominas. 54 p.il.
- Jaramillo, Daniel. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Medellín: Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia. 613 p.
- Kusmaul (1989) citado por AECO-AT (2001). *Minería de cielo abierto y sus impactos ambientales*. Preparado para el frente Nacional de Oposición a la minería de Oro a Cielo Abierto. Ed. AECO-AT, Costa Rica, 10 p.
- Langebaek, C. H. (1985). Cuando los muiscas diversificaron la agricultura y crearon el intercambio. *Boletín Cultural Y Bibliográfico*, 22(3), 3–10. Retrieved from http://publicaciones.banrepcultural.org/index.php/boletin_cultural/article/view/3275%5Cnhttp://publicaciones.banrepcultural.org/index.php/boletin_cultural/article/download/3275/3363
- Licina, V., Aksic, M. F., Colic, S., & Zec, G. (2013). A bioassessment of soil nickel genotoxic effect in orchard planted on rehabilitated coalmine overburden. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 98, 374–382. doi: 10.1016/j.ecoenv.2013.08.003
- Lugo, A. E. (1997). The apparent paradox of reestablishing species richness on degraded lands with tree monocultures. *Forest Ecology and Management*, 99, 9–19. doi: 10.1016/S0378-1127(97)00191-6
- Mackenzie, D. D., & Naeth, M. A. (2010). The role of the forest soil propagule bank in assisted natural recovery after oil sands mining. *Restoration Ecology*, 18(4), 418–427. doi: 10.1111/j.1526-100X.2008.00500.x
- Maiti, D., & Maiti, S. K. (2014). Eco restoration of waste dump by the establishment of grass-legume cover. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 3(3), Retrieved from www.ijstr.org
- Maiti, S. K. (2007). Bioreclamation of coalmine overburden dumps - With special emphasis on micronutrients and heavy metals accumulation in tree species. *Environmental Monitoring and Assessment*, 125(1–3), 111–122. doi: 10.1007/s10661-006-9244-3

- Marcela, L., Betancur, A., Karina, I, Mazo, I. M., José, A., & Mendoza, S. (2005). Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1), 57–60.
- Mendes Filho, P. F., Vasconcellos, R. L. F., De Paula, A. M., & Cardoso, E. J. B. N. (2010). Evaluating the potential of forest species under “microbial management” for the restoration of degraded mining areas. *Water, Air, and Soil Pollution*, 208(1–4), 79–89. doi: 10.1007/s11270-009-0150-5
- Ministerio de Minas y Energía (2003). Glosario técnico minero. 168p. Tomado de: <https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/glosariominero.pdf>
- Ministerio de minas y energía, (2016). Decreto 1666 del 21 de octubre 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” Tomado de: <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/23517/37238-Decreto-1666-21Oct2016.pdf/17f4f90c-4481-47cd-a084-c7fa0319f9cf>
- Ministerio de Minas y Energia. (2010). *Registro y control de barequeo*. Tomado de: <http://siminero.minminas.gov.co/siminero/documentacion/category/registro-y-control-de-barequeo/>
- Miranda, J. D., Padilla, F. M., & Pugnaire, F. I. (2004). Sucesión y restauración en ambientes semiáridos. *Ecosistemas*, 13(1), 55–58.
- Montagnini, F., Guariguata, M. R., Mariscal, A., Ribeiro, N., & Shepherd, D. (1999). Reforestación con especies nativas para la recuperación de áreas degradadas: experiencias en tres regiones de Latinoamérica. In *1er Seminario Centroamericano La reforestación una alternativa social económica y ambiental ante los desastres naturales*. Siguatepeque, Honduras.
- Mukhopadhyay, S., Maiti, S. K., & Masto, R. E. (2013). Use of Reclaimed Mine Soil Index (RMSI) for screening of tree species for reclamation of coal mine degraded land. *Ecological Engineering*, 57, 133–142. doi: 10.1016/j.ecoleng.2013.04.017
- Nuril Hidayati, Titi Juhaeti, Fauzia Syarif. (2009). Mercury and cyanide contaminations in gold mine environment and possible solution of cleaning up by using phytoextraction.

HIDAYATI Journal of Biosciences, 16, (3), 88-94. Tomado de <http://journal.ipb.ac.id/index.php/hayati/article/viewFile/278/143>

Observatorio de Conflictos Mineros en América Latina -OCMAL. (2016). *Minería, violencia y criminalización en América Latina, Dinámicas y tendencias*. Tomado de: <https://www.ocmal.org/wp-content/uploads/2017/11/Mineria-violencia-y-Criminalizacion-OCMAL.pdf>

Organización Mundial de la Salud – OMS. (2017). *El Mercurio y la salud*. Tomado de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs361/es/>

Pacina, J., Novák, K., & Popelka, J. (2012). Georelief Transfiguration in areas affected by open-cast mining. *Transactions in GIS*, 16(5), 663–679. doi: 10.1111/j.1467-9671.2012.01339.x

Pandey, V. C. (2013). Suitability of *Ricinus communis* L. cultivation for phytoremediation of fly ash disposal sites. *Ecological Engineering*, 57, 336–341. doi: 10.1016/j.ecoleng.2013.04.054

Peña, C. (2013). *Mundo minero*. Obtenido de <http://mundominero.com.co/mineria-ha-destruido35-000-hectareas-de-selva-en-el-bajo-cauca/>

PNUMA – Programa de Las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS. (2012). Sinopsis Nacional de la minería aurífera artesanal y de pequeña escala. 72 p. Tomado de: http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/mercurio/Sinopsis_Nacional_de_la_ASGM.pdf

PNUMA - Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, (2011). Documento de orientación: Elaboración de un Plan Estratégico Nacional para Reducir el Uso de Mercurio en la Extracción de Oro Artesanal y a Pequeña Escala, Versión 2.0, julio de 2011.

Poveda, G. (2002). La minería colonial y republicana: Cinco siglos de variantes y desarrollos. *Revista Credencial Historia*. Edición 151 – Julio de 2002, Bogotá – Colombia. Tomado de: <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/revistas/credencial>

/julio 2002 /lamineria.htm%5Cnhttp://portalweb.sgm.gob.mx/museo/minerales /clasificacion-minerales

Procuraduría General de la Nación. (2011). *Informe preventivo sobre la minería ilegal*. Bogotá: Procuraduría General de la Nación.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2008). *El uso del mercurio en la minería del oro artesanal y en pequeña escala*. Tomado de: [http://www.mesadedialogopermanente.org/Mesa_de_Dialogo_Permanente/Mesa_de_Dialogo_Permanente/documentos_files/MERCURIO EN LA MINERIA DEL ORO MODULO 3.pdf?](http://www.mesadedialogopermanente.org/Mesa_de_Dialogo_Permanente/Mesa_de_Dialogo_Permanente/documentos_files/MERCURIO_EN_LA_MINERIA_DEL_ORO_MODULO_3.pdf?)

Quiceno, C. C. C., & Escobar, J. M. M. (2011). Caracterización de sistemas de ventilación en minería subterránea. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, (29), 73–85.

Rettberg, A., & Ortiz-Riomalo, J. (2014). Conflicto dorado: Canales y mecanismos de la relación entre minería de oro, conflicto armado y criminalidad en Colombia. *Igarss*, (1), 47. doi: 10.1007/s13398-014-0173-7.2

Robert, M. (2002). *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Informe sobre recursos mundiales de suelos No. 96. Fao*. Retrieved from http://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=OKZt9agfRksC&oi=fnd&pg=PR3&dq=CAPTURADA+DE+CARBONO+EN+LOS+SUELOS+PARA+UN+MEJOR+MANEJO+DE+LA+TIERRA&ots=5xOjDqvtWf&sig=c9-6h5Q4W_qU0xBHudD4lqchYyc

Ronderos, M. T. (2011), “La fiebre minera se apoderó de Colombia”, *Semana*, 6 de sep. Recuperado de: <http://www.semana.com/nacion/articulo/la-fiebre-minera-apodero-colombia/246055-3>

Rozo, A. M. (2012). (E. colombiano.com, Entrevistador). citado por: Correa A, R.J. en: *Impactos sociales y ambientales de la minería artesanal en el bajo cauca antioqueño*. Cartagena: Universidad de San Buenaventura (2014).

Ruan, H. H., Zou, X. M., Scatena, F. N., & Zimmerman, J. K. (2004). Asynchronous fluctuation of soil microbial biomass and plant litterfall in a tropical wet forest. *Plant and Soil*, 260, 147–154.

- Rudas, G. & Espitia, J. (2013). La paradoja de la minería y el desarrollo. Análisis departamental y municipal para el caso de Colombia. En *Minería en Colombia: institucionalidad y territorio, paradojas y conflictos*. Bogotá: Contraloría General de la República e Imprenta Nacional de Colombia, pp. 27-84.
- Salamanca, Jorge L., G., Leal, M. C., Morales, J. F., & Montes, R. E. N. (2013). *Minería En Colombia: Fundamentos para superar el modelo extractivista*, 209. Retrieved from <http://www.foronacionalambiental.org.co/wp-content/uploads/2011/11/libro-1.pdf#page=89>
- Semana. (2013). *Minería ilegal: entre el oro y el crimen*. Recuperado de <http://www.semana.com/nacion/articulo/oro-crimen-mineria-ilegal/338107-3>
- Shiyab, S., Chen, J., Han, F. X., & Monts, D. L. (2009). Phytotoxicity of mercury in Indian mustard (*Brassica juncea* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(2), 619-25. doi: 10.1016/j.ecoenv.2008.06.002.
- 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*, 72(2), 619-625.
- Society for Ecological Restoration International and IUCN Commission on Ecosystem Management. (2004). *Ecological restoration, a means of conserving biodiversity and sustaining livelihoods*. Gland, Switzerland:Tucson, Arizona, USA and IUCN, pp. 1–8.
- Soil Survey Staff, Departamento de Agricultura de los Estados unidos -USDA. (2014). Keys to soil taxonomy. Tomado de: http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf
- Srivastava, N. K., Ram, L. C., & Masto, R. E. (2014). Reclamation of overburden and lowland in coal mining area with fly ash and selective plantation: A sustainable ecological approach. *Ecological Engineering*, 71, 479–489. doi: 10.1016/j.ecoleng.2014.07.062
- Unidad de Planeación Minero energética - UPME (2006). Formulación de una iniciativa de producción más limpia dirigida al sector de los metales preciosos en pequeña escala en Colombia para ser implementado a través de los centros ambientales mineros –

CAMs – u otros instrumentos técnicos.101 p. Tomado de: <http://www.upme.gov.co/docs/mineria/1865.pdf>. Consultado enero de 2018

Villa, Maria L. (2016) *Escalas de minería: la realidad colombiana*. Tomado de: http://www.somostesoro.org/files/uploads/documents/ESCALAS_DE_LA_MINERIA_MARIA_LUISA_VILLA.pdf.

Villamizar, J. D. y Ramírez, J. M. (1988). Características de las explotaciones aluviales del bajo Cauca y sus efectos ambientales. Tesis (Ingeniero de Minas). Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas.

Wong, H., Gauthier, A. y Nriagu, J. (1999). Dispersión y toxicidad de metales de relaves de minas de oro abandonadas en Golden Ville, Nueva Escocia, Canadá. *Science Total Environment*, 228, 35-47.

Xu, S., Liu, L. L., & Sayer, E. J. (2013). Variability of above-ground litter inputs alters soil physicochemical and biological processes: A meta-analysis of litterfall-manipulation experiments. *Biogeosciences*, 10(11), 7423–7433. doi: /10.5194/bg-10-7423-2013.

Zapata, J. (2014). SEMANA.