

**CONSIDERACIONES AMBIENTALES POR EL USO DE MERCURIO EN
MINERÍA AURÍFERA EN EL MUNICIPIO DE EL BAGRE, ANTIOQUIA:
ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN LIMPIA**



**LUNA ARCILA MAYRA MARCELA
SOTO HOYOS EMILIO JOSÉ**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA AMBIENTAL
MONTERÍA, CÓRDOBA**

2016

**CONSIDERACIONES AMBIENTALES POR EL USO DE MERCURIO EN
MINERÍA AURÍFERA EN EL MUNICIPIO DE EL BAGRE, ANTIOQUIA:
ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN LIMPIA**

**LUNA ARCILA MAYRA MARCELA
SOTO HOYOS EMILIO JOSÉ**

**Trabajo de grado presentado, en la modalidad de Trabajo de investigación y/o
extensión como parte de los requisitos para optar al Título de Ingeniero Ambiental**

**Director:
JOSÉ LUIS MARRUGO NEGRETE, Ph.D.**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA AMBIENTAL
MONTERÍA, CÓRDOBA**

2016

**La responsabilidad ética, legal y científica de las ideas, conceptos y resultados del
proyecto, serán responsabilidad de los autores.**

Artículo 61, acuerdo N° 093 del 26 de noviembre de 2002 del consejo superior.

Nota de aceptación

Firma del jurado

Firma del jurado

Esta Tesis se la dedico a mi Dios por darme fuerzas de seguir adelante frente a los problemas que se presentaban y no desfallecer en el intento.

A mi familia quienes han estado de forma incondicional a mi lado. Para mis padres por su apoyo, comprensión y aliento en los momentos difíciles. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios y carácter.

Mayra Marcela Luna Arcila

Dedico esta tesis a mis padres Mario Soto Sánchez y Emilia Hoyos Hernández por brindarme su apoyo y amor incondicional

A mis hermanos y familiares que estuvieron alentándome para culminar con éxito mis estudios.

A mis amigos que incondicionalmente estuvieron apoyándome todo el tiempo.

A todos ellos dedico el fruto de este esfuerzo, pues es a ellos quienes les debo este logro en mi vida.

Emilio José Soto Hoyos

Agradecimientos:

A la Universidad de Córdoba

Que a través del programa de Ingeniería Ambiental nos brindó la oportunidad de culminar con éxito nuestra carrera profesional.

A la Unidad de Planeación Minero Energética - UPME y al Ministerios de Minas y Energías

Por respaldar el convenio con la Universidad de Córdoba, el cual contribuyó en la ejecución de este proyecto.

A Nuestro Director académico

El doctor Ph.D José Luis Marrugo Negrete por su paciencia y dedicación durante todo el proceso, nuestro más amplio agradecimiento por habernos confiado este trabajo, por su valiosa dirección y apoyo para seguir esta tesis y llegar a la conclusión de la misma.

Al equipo de Apoyo

Nuestros agradecimientos a la colaboración del equipo involucrado en la toma y procesado de las muestras, los cuales hicieron posible la realización de este proyecto.

A Familiares y Amigos

Por su respaldo y apoyo durante esta etapa de nuestras vidas

A Nuestros Jurados

Por sus aportes a la culminación de este informe

A todos ustedes, nuestro mayor agradecimiento y gratitud.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	13
1 REVISIÓN DE LITERATURA	16
1.1 MINERÍA AURÍFERA.....	17
1.1.1. Minería artesanal y pequeña escala.....	17
1.1.1. Mercurio.....	17
1.2 EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL	18
1.2.1 Importancia de la evaluación ambiental	19
1.2.2 Impacto ambiental.....	20
1.3 PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA (UPME, 2007)	21
2 MATERIALES Y MÉTODOS	23
2.1 ÁREA DE ESTUDIO	24
2.1.1 Clima.....	26
2.1.2 Aspecto geográfico.....	26
2.1.3 Aspecto ambiental	26
2.1.4 Aspecto económico.....	27
2.2 METODOLOGÍA.....	27
2.2.1 Recolección de la información.....	27
2.2.2 Recolección de las muestras y análisis de laboratorio.....	27
2.2.3 Análisis estadístico.....	28
2.2.4 Balance de masa.....	28
2.2.5 Evaluación ambiental.....	28
3 RESULTADOS Y DISCUSIONES	33
3.1 CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN SEDIMENTO Y AGUA ...	34
3.2 CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN AIRE	38
3.3 CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN SUELO.....	41
3.4 BALANCE MÁSSICO DE MERCURIO	43
3.5 EVALUACIÓN AMBIENTAL	46
3.5.1 Identificación de Impactos Ambientales	46

3.5.2	Evaluación ambiental, método EPM	49
3.6	ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN LIMPIA	63
3.6.1	Tecnologías de Producción Más Limpia para el proceso de beneficio	63
3.6.2	Alternativas para el aprovechamiento y uso eficiente del agua	77
4	CONCLUSIONES	79
5	RECOMENDACIONES	82
6	BIBLIOGRAFÍA	83
7	ANEXOS	93

LISTADO DE ANEXOS

Anexo 1.	Lista de chequeo.....	94
Anexo 2.	Listas de chequeo de minas.....	97
Anexo 3.	Puntos de muestreo.....	117
Anexo 4.	Evaluación de los impactos ambientales.....	118

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.	Calificación ambiental e importancia del impacto ambiental	32
Tabla 2.	Concentraciones de mercurio en sedimentos y agua.....	34
Tabla 3.	Concentraciones de mercurio en aire	39
Tabla 4.	Concentraciones de mercurio en suelo.....	41
Tabla 5.	Relación mercurio gastado por oro producido en El Bagre	44
Tabla 6.	Producción Total de Oro y Oro producido por Mineros S.A.	45
Tabla 7.	Producción de Oro en el municipio de El Bagre y cantidad promedio de mercurio no recuperado y vertido al ambiente natural.....	46
Tabla 8.	Evaluación de impactos por el método EPM	49

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación de las minas de estudio.....	25
Figura 2.	Trommel	65

Figura 3. Jig.....	66
Figura 4. Trituradora de Quijadas	64
Figura 5. Molino de Bolas.....	65
Figura 6. Mesa Vibratoria	66
Figura 7. Concentrador Knelson	67
Figura 8. Tanque Agitador	68
Figura 9. Canalón en Z.....	70

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Diagrama causa - efecto para minería aurífera	47
Gráfico 2. Proceso de beneficio actual en la minería aluvial	70
Gráfico 3. Proceso de beneficio propuesto en la minería aluvial	72
Gráfico 4. Proceso de beneficio actual en la minería de filón.....	73
Gráfico 5. Proceso de beneficio propuesto en la minería de filón	75

RESUMEN

Una de las principales actividades contaminantes del ambiente es la minería aurífera artesanal y de pequeña escala, debido a que utiliza mercurio en el proceso de beneficio del oro y ocasiona el derrame directo de grandes cantidades de este metal en ríos, ciénagas y lagunas. Además, la amalgama mercurio-oro obtenida es quemada usualmente a campo abierto liberando vapores de mercurio directamente a la atmósfera, afectando a la población en general. El presente proyecto de investigación se realizó en las minas identificadas como El Tejar, 505, La Florida, La Granja y Real pertenecientes al municipio de El Bagre - Antioquia. El objetivo del trabajo fue evaluar las implicaciones ambientales generadas por el uso de mercurio en minería aurífera mediante la determinación del contenido de mercurio en el agua, suelo, aire y sedimentos, así como la elaboración del balance másico e identificación y evaluación de los impactos ocasionados al medio. De igual forma, se propusieron estrategias de producción limpia que buscan mitigar los posibles impactos ambientales y efectos a la salud.

La concentración de mercurio en agua ($1,76 \mu\text{g L}^{-1}$) y aire ($3201,57 \text{ ng m}^{-3}$) superaron los niveles permisibles por la resolución 0631 de 2015 ($2 \mu\text{g L}^{-1}$) para vertimientos puntuales en cuerpos de agua, y de la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA, $0,77 \mu\text{g L}^{-1}$) para la protección de la vida acuática; resolución 0610 de 2010 (1000 ng m^{-3}) para calidad del aire y de la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA, 300 ng m^{-3}) para calidad del aire. El balance másico indicó que en promedio para obtener un (1) gramo de oro es necesario emplear 2,441 gramos de mercurio y que anualmente se liberan en promedio 6553,39 Kg de mercurio al ambiente.

La evaluación ambiental estableció que la etapa que más repercute negativamente sobre el ambiente es la de beneficio del oro, seguida de la extracción del mineral y en menor proporción las operaciones auxiliares.

En función del tipo de mina (aluvial y filón) se formuló la implementación de nuevas tecnologías para el beneficio del oro acorde a las alternativas planteadas de producción más limpia.

Palabras claves: minería aurífera, oro, mercurio, evaluación ambiental.

ABSTRACT

One of the main contaminants environment activities is artisanal gold mining and small scale, because it uses mercury in the gold benefit process and causes direct spill large amounts of metal in surface waters as rivers, swamps and lagoons. Furthermore, mercury-gold amalgam obtained usually burned in the open field releasing mercury vapors directly into the atmosphere, affecting the general population. This research project was conducted in the mines identified as El Tejar, 505, La Florida, La Granja and Real belonging to the municipality of El Bagre – Antioquia. The objective of this project was evaluate the environmental implications generated by the use of mercury in gold mining, through the determination of mercury in water, soil, air and sediment, as well as development of the mass balance, identification and assessment of impacts caused to the environment. Likewise, cleaner production strategies that seek to mitigate potential environmental impacts and health effects were proposed.

The concentration of mercury in water (1,76 mg L⁻¹) and air (3201,57 ng m⁻³) exceeded permissible levels by resolution 0631 of 2015 (2 µg L⁻¹) for dumping point into water surface and Environmental Protection Agency (EPA 0,77 mg L⁻¹) for protection of aquatic life. The resolution 0610 of 2010 (1000 ng m⁻³) for quality air and Environmental Protection Agency (EPA 300 ng m⁻³) for air quality. The mass balance indicated that on average for one (1) gram of gold is necessary to use mercury and 2.441 grams and annually are released 6553.39 kg mercury on average to the environment.

The environmental assessment established that the stage more negative impact on the environment is to benefit gold, followed by mineral extraction and to a lesser extent auxiliary operations.

In function to the kind of mine (alluvial and vein) the implementation of new technologies for the benefit of gold according to the alternatives proposed cleaner production was proposed.

Keys Words: Gold Mining, Gold, Mercury, Environment assessment.

INTRODUCCIÓN

La minería aurífera es una actividad económica desarrollada en Latinoamérica desde hace mucho tiempo, que ineludiblemente generan impactos en el ambiente. Las prácticas artesanales, el manejo inadecuado de los residuos y la inexistencia de normas precisas que regulen las emisiones de estos hacia los ecosistemas ha permitido que las áreas intervenidas se vean afectadas por la acumulación de contaminantes y el continuo deterioro en los recursos naturales. (Young, 2013)

En Colombia, la minería de oro es el principal contribuyente a la contaminación de mercurio (Hg) (Güiza y Aristizábal, 2013) y por lo tanto, una de las principales fuentes que aportan Hg en el entorno (Cordy et al. 2011). En los ecosistemas tropicales, la contaminación por mercurio ha sido totalmente documentada en la cuenca del río Amazonas (Berzas et al., 2010), pero muy pocos trabajos se han llevado a cabo en otras áreas tropicales donde las actividades mineras de oro son abundantes y la información sobre los impactos reales de contaminación de mercurio (Hg) es escasa.

El Norte de Colombia es un caso particular, donde los ríos Cauca y Magdalena forman un vasto complejo de ciénagas ricas en biodiversidad, pero altamente amenazadas por las extensas actividades de minería de oro artesanal y pequeña escala que se realizan en la región. (Marrugo, *et al.* 2015)

Marrugo *et al.* (2010) demostraron que la región de la Mojana es un receptor potencial de las contribuciones sustanciales de mercurio del río Cauca, que recibe la mayor parte de los relaves de la zona de oro más grande del país a través de los procesos de inundación que se producen durante la temporada de lluvias.

Esta aportación de mercurio se relaciona con la proliferación de la minería de oro en Colombia, que es el contaminador de mercurio per cápita más grande del mundo (Cordy *et al.*, 2011).

En el municipio de El Bagre, siendo la minería una de las principales actividades económicas, ha hecho que se reconozca al municipio, como el primer productor de oro del departamento de Antioquia, teniendo presente que el precio del oro ha aumentado desde el año 2003, el número de mineros artesanales también ha aumentado considerablemente. (Veiga y Baker, 2004)

Teniendo en cuenta el elevado consumo de mercurio en la minería aurífera artesanal y que sin duda conlleva implicaciones ambientales no solo en el área de explotación sino también en las regiones alejadas, el presente estudio tiene como objetivo principal: Evaluar las implicaciones ambientales generadas por el uso de mercurio en minería aurífera mediante una evaluación cualitativa para proponer estrategias de producción limpia las cuales busquen mitigar los posibles impactos ambientales y efectos a la salud en el municipio de El Bagre, Antioquia; y para su desarrollo se realizaron los siguientes objetivos específicos:

- Determinar las concentraciones de mercurio en agua, aire, suelo y sedimento y su prevalencia en la contaminación por la actividad minera aurífera en el municipio de El Bagre, Antioquia.
- Realizar el balance másico de mercurio en cinco (5) puntos o sitios del área de estudio.
- Elaborar la evaluación cualitativa de los posibles impactos ambientales que permitan un análisis integral de los mismos, en el área afectada por la actividad minera aurífera.
- Proponer estrategias de producción limpia que permitan minimizar los posibles impactos ambientales y efectos a la salud.

1 REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 MINERÍA AURÍFERA

Los sistemas de extracción del oro varían según el tipo de mina, las condiciones del medio físico y el rendimiento. Las mayores diferencias en método de explotación ocurren entre las minas de “Filón”, donde el oro se encuentra en las rocas intrusivas de origen, y las minas de “Placer”, que ocurren en depósitos aluviales, donde el oro ha sido transportado y depositado con los demás sedimentos de los ríos (Aristizabal, 2013).

1.1.1. Minería artesanal y pequeña escala

La minería del oro artesanal y en pequeña escala es la extracción de minerales, más comúnmente el oro, que realizan los mineros que trabajan en explotaciones pequeñas o medianas, usando técnicas rudimentarias. Se suele emplear prácticas sencillas, con inversiones económicas pequeñas. El mercurio se usa a menudo para separar el metal del mineral, y generalmente lo manejan personas cuya conciencia de los riesgos que implica, capacitación para minimizar esos riesgos y disponibilidad de equipo de seguridad son mínimas o nulas (PNUMA, 2008).

1.1.1. Mercurio

Uno de los metales con mayor impacto sobre los ecosistemas y que desde hace varias décadas ha sido objeto de innumerables estudios por parte de investigadores en diversas áreas. Este elemento puede aparecer en el ambiente bien sea por fenómenos naturales o por actividades humanas, lo cual ha ocasionado su acumulación y toxicidad en la biota, afectando la integridad de los ecosistemas y la salud del hombre.

El mercurio, al igual que muchos otros compuestos de elevada toxicidad, son contaminantes cuya bioacumulación y biomagnificación es plausible de manera fácil por transferencia en la cadena alimenticia (Haines *et al.*, 2003; Dolbec *et al.*, 2001 citados por Young, F. 2013). Por lo anterior, a medida que aumenta el nivel de la especie en la cadena trófica, es notoria la presencia de estas sustancias tóxicas en sus diferentes tejidos. (Kainz y Lucotte, 2002 citado por Young, F. 2013; Tarras-Wahlberg *et al.*, 2001)

1.1.1.1. Fuentes de Contaminación Ambiental

- **Origen Natural.** La mayor fuente natural de mercurio es la desgasificación de la corteza terrestre, emisiones de los volcanes y la evaporación desde los cuerpos de agua (Nriagu *et al.*, 1992). No obstante, gran parte del mercurio encontrado en la atmósfera y en los ecosistemas hídricos, puede ser transportado a zonas urbanas por efecto de la deposición atmosférica, proviene de actividades antropogénicas (Marins *et al.*, 2000), lo cual hace difícil valorar en forma cuantitativa la contribución relativa del mercurio de origen natural y antropogénico que son depositados en la biosfera.
- **Fuentes Antropogénicas.** La contaminación ocasionada por el hombre es realizada de muchas formas: las descargas de desechos y la emisión directa a la atmósfera en la explotación minera del metal y del oro, la quema de los combustibles fósiles representa una fuente importante de contaminación atmosférica, así como la incineración de desechos sólidos, los cuales incluyen mercurio volatilizado de baterías desechadas y durante la fundición de cobre y zinc (Fitzgerald & Clarkson, 1991).

La contaminación con mercurio en las zonas tropicales, particularmente en Brasil, Colombia, Ecuador y Bolivia es originada en los procesos de beneficio del oro. Este proceso ocasiona el derrame directo de grandes cantidades del metal en los ríos y en cuerpos de agua como ciénagas y lagunas. La amalgama mercurio-oro obtenida es quemada usualmente a campo abierto dejando libre el oro y liberando el tóxico metálico en forma de vapor directamente a la atmósfera. La mayoría de estos procesos son realizados muy cerca de las viviendas de los mineros, de tal forma que las familias respiran gran parte del vapor de mercurio volatilizado (Turizo *et al.*, 1997). La producción de oro en esta área es aproximadamente de 18.8 toneladas al año (UPME, 2001).

1.2 EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Conesa (1996) define la EIA como “Un procedimiento jurídico administrativo que tiene como objetivo la identificación, predicción e interpretación de los impactos ambientales

que un proyecto o actividad produciría en caso de ser ejecutado, así como la prevención, corrección y valoración de los mismos, todo ello con el fin de ser aceptado, modificado o rechazado por parte de las administraciones públicas competentes”.

La evaluación de impacto ambiental es un proceso singular e innovador cuya operatividad y validez como instrumento para la protección y defensa del medio ambiente está recomendado por diversos organismos internacionales. También es avalado por la experiencia acumulada en países desarrollados, que lo han incorporado a su ordenamiento jurídico desde hace años (Espinosa, 2002).

El objetivo fundamental de la EIA es hacer que los proyectos o actividades propuestas sean ambientalmente satisfactorios y que las consecuencias ambientales sean manifestadas en las etapas tempranas del desarrollo del proyecto. Por lo tanto, la EIA debe ser un instrumento de planificación, que permite la incorporación de la variable ambiental en los procesos de planeación, ejecución y funcionamiento de los proyectos.

1.2.1 Importancia de la evaluación ambiental

La evaluación de impacto ambiental opera mediante un proceso de análisis continuo destinado a proteger el ambiente contra los daños injustificados o no previstos. Es un proceso informado y objetivo de decisiones concatenadas y participativas, que ayudan a identificar las mejores opciones para llevar a cabo una acción sin daños ambientales inaceptable.

En este sentido, es importante destacar que un proceso de evaluación de impacto ambiental debe ser considerado como un instrumento que está al servicio de la toma de decisiones y que permite alcanzar anticipadamente un conocimiento amplio e integrado de los impactos o incidencias ambientales derivadas de una actividad antrópica (Espinoza 2002).

Además de la identificación, prevención e interpretación de los potenciales efectos generados por la ejecución de una actividad, parte importante de la evaluación de impacto ambiental es proporcionar un conjunto de medidas que permitan atenuarlos, compensarlos e incluso suprimirlos.

1.2.2 Impacto ambiental

En el artículo 1, del decreto 1220 del 21 de abril de 2005, define el impacto ambiental como: “Cualquier alteración en el sistema ambiental biótico, abiótico y socioeconómico, que sea adverso o beneficioso, total o parcial, que pueda ser atribuido al desarrollo de un proyecto, obra o actividad.”

Acorde a lo anterior, Aristizabal (2013), considera impacto ambiental a cualquier alteración de las propiedades del medio ambiente, ocasionada por cualquier energía resultante de las actividades humanas que afecten la salud, seguridad o bienestar de la comunidad; las actividades sociales o económicas; la biodiversidad; las condiciones estéticas y sanitarias del medio ambiente o la calidad de los recursos naturales.

1.2.2.1 Impactos ambientales de la minería

La minería artesanal y de pequeña escala que utiliza mercurio, por ser una actividad ampliamente distribuida en el territorio nacional, que se desarrolla en muchos casos dentro de la informalidad y que emplea a miles de personas, incluso niños, generalmente sin las condiciones básicas de seguridad social que exige el Estado colombiano, genera una serie de impactos de diversa índole que afectan al ambiente, a la salud humana, a la economía y a la sociedad en general (PNUMA, 2012). A continuación, se hace una síntesis de los impactos más significativos según el Ministerio de Ambiente (2002):

- **Impactos en el recurso hídrico y ecosistemas acuáticos.** La actividad minera demanda y genera grandes volúmenes de agua para los procesos y operaciones de obtención del mineral tanto en la explotación de filón como de aluvión, los cuales contribuyen especialmente a la polución y contaminación de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, además de las descargas provenientes de los asentamientos mineros. Entre los impactos que afectan los recursos hídricos se enumeran los siguientes:
 - Afectación en disponibilidad y cantidad del recurso hídrico.
 - Alteración de la morfo dinámica fluvial.
 - Afectación de la calidad del agua.

- Aporte de sedimentos y cargas orgánicas.
- Drenaje de ácidos, grasas y aceites, combustibles y metales pesados.
- **Impactos en la atmosfera.** El deterioro de la calidad del aire en las regiones auríferas, por el sistema aluvial o de filón es fundamentalmente causado por las emisiones de material particulado, gases y ruido, generados en las etapas de montaje y operación.
- **Suelo, Paisaje y Ecosistemas Terrestres.** Las actividades asociadas a la minería y las derivadas de la actividad misma, afectan la superficie terrestre por el descapote o movimiento de mantos superficiales para la preparación del sitio y la instalación de facilidades preliminares como campamentos, talleres, bodegas, que conllevan a la pérdida de suelo.

El movimiento de maquinaria pesada, utilización de áreas para acopio de cantos, la remoción y apilamiento de todo el material, disposición de arenas con mercurio y cianuro, estériles como lodos producto del proceso de beneficio, acumulación de material en escombreras y la no reconformación de zonas explotadas, ocasionan impactos ambientales sobre el suelo y el paisaje asociados a la pérdida de su capacidad productiva y restricciones en su uso. Existe la generación o incremento de procesos erosivos en los frentes de explotación activos y abandonados, especialmente por movimientos en masa y erosión superficial que ocasiona la pérdida de suelos y desestabilización de zonas. En el caso de la minería subterránea los procesos de subsidencia y deslizamientos, ocasionan riesgos no solo a los mineros, sino a las comunidades aledañas a las minas, sobre todo en terrenos pendientes.

1.3 PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA (UPME, 2007)

Las Naciones Unidas definen a la producción más limpia PML como “La continua aplicación de una estrategia ambiental preventiva e integrada, aplicada a procesos, productos y servicios para mejorar la eficiencia y reducir los riesgos a los humanos y al ambiente”.

La producción más limpia (PML) es una herramienta para el desarrollo sostenible, su fin es el de implementar prácticas de producción que conduzca a la armonía entre el hombre

y la naturaleza. La producción más limpia describe un acercamiento preventivo a la gestión ambiental, es un amplio término que abarca lo que algunos países/instituciones denominan eco-eficiencia, minimización de residuos, prevención de la contaminación, o productividad verde. Por tal razón no debe ser considerada solamente como una estrategia ambiental, está relacionada también con beneficios económicos; es una estrategia que además de proteger el medioambiente, beneficia al consumidor y al trabajador mientras que mejora la eficiencia industrial, los beneficios y la productividad.

Con el propósito de mejorar las condiciones técnicas, ambientales y sociales de las poblaciones mineras en Colombia, se deben emprender programas y proyectos para evitar emisiones y vertimientos, y determinar los efectos causados por el uso de mercurio y el cianuro en la minería del oro en el ambiente y la población, así como mejorar la productividad.

Los objetivos de producción más limpia son entre otros:

- Aumentar la eficiencia operativa de los equipos y hacer uso racional de la energía.
- Prevenir, evitar, corregir y mitigar cargas contaminantes y disminuir riesgos
- Minimizar costos y lograr el máximo beneficio económico del material extraído mediante optimización del proceso.
- Optimizar los recursos naturales y las materias primas, minimizando o eliminando residuos o aprovechando estos para crear subproductos.
- Involucrar a la comunidad para mejorar las condiciones de seguridad industrial y salud laboral.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de El Bagre, se encuentra localizado en la subregión del Bajo Cauca del departamento de Antioquia, a 326 km de la capital del departamento, Medellín. Cuenta con una extensión de 1,563 km² de los cuales solo 10,8 km² se encuentran urbanizados, constituyéndose el área restante en rural (Plan de Desarrollo Municipal de El Bagre 2012 -2015), Con relación a las fronteras, limita por el norte con el municipio de Nechí; por el sur con los municipios de Zaragoza y Segovia, por el este con las serranías de San Lucas y Santa Bárbara en el departamento de Bolívar; por el occidente con los municipios de Caucaasia y Zaragoza. La cabecera municipal se encuentra ubicada a orillas del río Nechí (N 7°, 35', 25" y W 74°, 48', 48"), a una altura de 50 msnm en la confluencia con el río Tigüí, el cual es afluente del río Nechí y éste del río Cauca (PBOT, 2009).

Las minas de estudio se describen a continuación y su ubicación geográfica se muestra en la **Figura 1**:

Mina 505: Localizada en las coordenadas 07° 40' 03,9" Latitud Norte y 74° 48' 36,8" Longitud Oeste, a una altura de 60.95 m.s.n.m.

Mina El Real: Se encuentra localizada en las coordenadas localizadas en la vereda El Real, perteneciente al municipio de El Bagre - Antioquia, en las coordenadas 07° 37' 32,1" Latitud Norte y 74° 46' 58,0" Longitud Oeste, a una altura de 82.17 m.s.n.m.

Mina La Granja: Localizada en el municipio de El Bagre - Antioquia, en las coordenadas 07° 34' 18,3" Latitud Norte y 74° 48' 16,1" Longitud Oeste, a una altura de 68,84 m.s.n.m.

Mina El Tejar: Se localiza en el municipio de El Bagre- Antioquia, en las coordenadas 07° 42' 76,1" Latitud Norte y 74° 44' 60,6" Longitud Oeste, a una elevación de 78.54 m.s.n.m.

Mina La Florida: Se ubica en el municipio de El Bagre - Antioquia, en las coordenadas 07° 43' 55,3" Latitud Norte y 74° 43' 33,2" Longitud Oeste, con una elevación de 75,82 m.s.n.m. En el corregimiento de Puerto Claver.

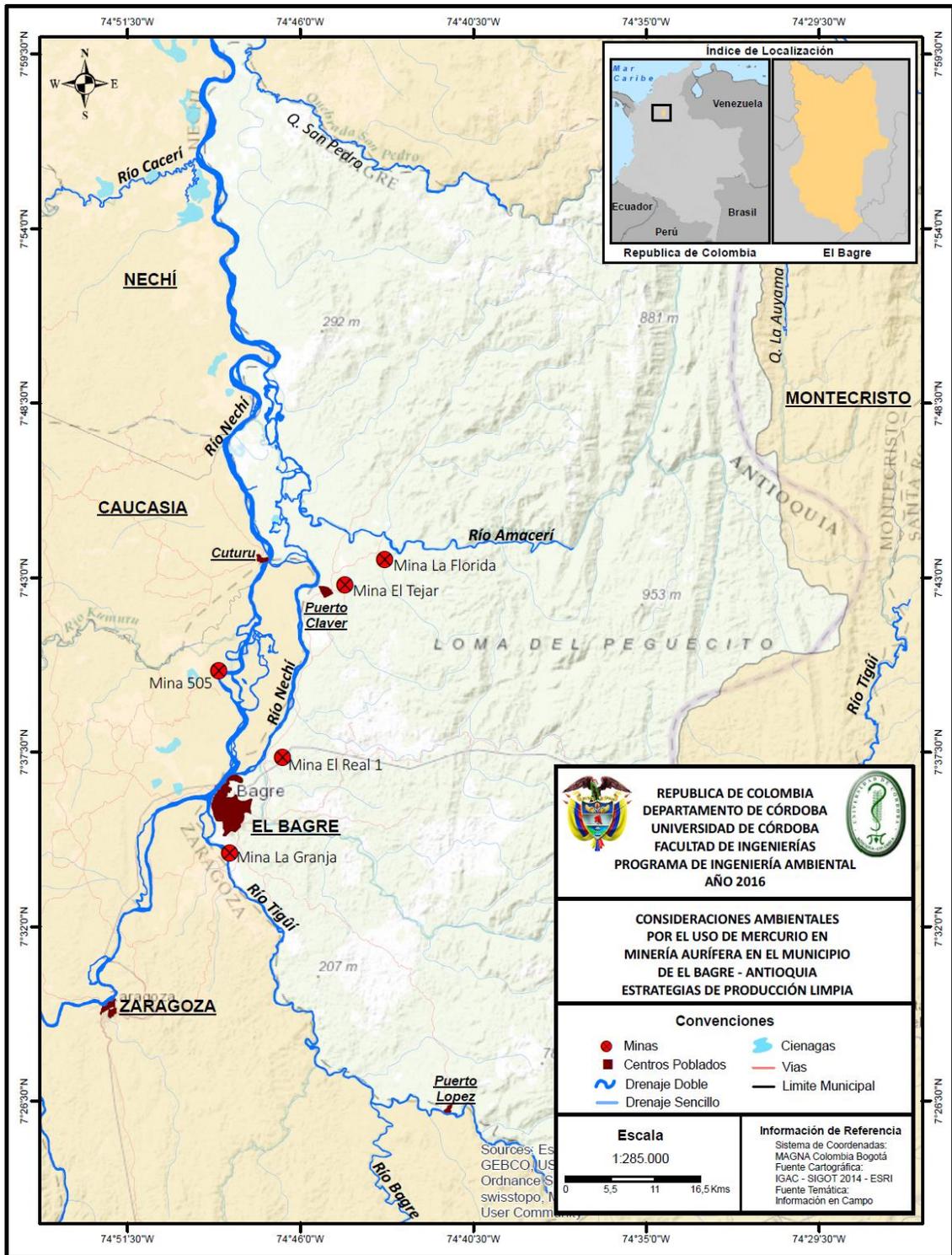


Figura 1. Ubicación de las minas de estudio.

Fuente: Grupo de trabajo.

2.1.1 Clima

Dentro del área de estudio se presenta una temperatura promedio de 37°C, experimenta un tipo de clima cálido muy húmedo, con precipitaciones que rondan los 3001- 7000 mm/año en un bioma de Bosque Húmedo Tropical (PBOT 2009).

2.1.2 Aspecto geográfico

La topografía de El Bagre es ligeramente quebrada hacia el oriente y plana hacia el sur y occidente; entre los accidentes orográficos se destacan el cerro El Almendro y los altos Urudurú y Urabá. Los riegan ríos y quebradas afluentes del río Nechí, entre ellos los ríos Amacerí, Torcoral y Bagre, y las quebradas Ucurú, Villa y Urapá (PBOT, 2009).

Se encuentra ubicado entre la parte baja de la cuenca del río Nechí y la serranía de San Lucas. Dentro de este territorio se presentan básicamente tres formas de superficie terrestres: la planicie aluvial, las colinas y las montañas. La planicie aluvial y las colinas se han visto afectadas por la minería aluvial que practica la empresa Mineros S.A y a su vez las colinas han sufrido degradación debido a la mediana minería (PBOT, 2009).

El municipio cuenta con las zonas de bosque húmedo tropical (bh-T) y bosque muy húmedo pre-montano (PBOT, 2009). En general, en la subregión del Bajo Cauca el 97,8 % del territorio es de pisos térmicos cálidos y el 2% de pisos medios.

2.1.3 Aspecto ambiental

La problemática ambiental del municipio viene ligada a la principal actividad económica, la minería, constituyendo el principal problema, los inadecuados sistemas de exploración y explotación de la mina, ya que no consideran mecanismos de manejo para la mitigación de los impactos sobre la tierra y por lo general no se da el cumplimiento de medidas que permitan la recuperación y compensación de los recursos comprometidos como el agua, la flora y la fauna. Se logra evidenciar un deterioro ambiental considerable, las cuencas de los ríos reciben los desechos de la producción minera y esta contaminación de las aguas genera efectos negativos en la producción agrícola y piscícola del municipio y de sus vecinos.

2.1.4 Aspecto económico

El municipio de El Bagre la principal actividad económica es la minería, siendo el oro el principal metal precioso producido en el municipio. Además de ser principal productor de oro del departamento de Antioquia; seguido se encuentran otros minerales como la plata y en menor significancia el platino. La producción de oro muestra una tendencia cíclica, con una tendencia creciente a partir del año 2010 (Ministerio del Trabajo, 2013).

La oferta agrícola, en conjunto, está determinada por el cultivo de yuca, maíz, plátano, arroz, cacao y en los últimos años el caucho al cual le ha apostado el municipio del Bagre. Pero se han evidenciado cambios drásticos en el municipio, debido principalmente a su vocación minera. Del 2000 al 2011, las áreas sembradas pasaron de 6479 a 3672 ha y las áreas cosechadas de 6457 a 2785 ha respectivamente (PBOT, 2009)

2.2 METODOLOGÍA

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados se realizaron las siguientes etapas:

2.2.1 Recolección de la información

Se realizó una visita previa para el reconocimiento del área de estudio, posteriormente se elaboró una lista de chequeo (ver **Anexo 1** y **Anexo 2**) que permitió establecer los aspectos generales de las minas y la identificación de impactos ambientales teniendo en cuenta los procesos y actividades desarrolladas en las minas.

2.2.2 Recolección de las muestras y análisis de laboratorio

La toma de muestras en las minas fue aleatoria (ver **Anexo 3**) y estuvo a cargo del Grupo de Aguas, Química Aplicada y Ambiental de la Universidad de Córdoba, así:

Componente	Número de muestras por mina	Época del año
Agua	3	Periodo comprendido entre agosto y septiembre de 2014
Suelo	3	
Sedimento	3	
Aire	10	

Las muestras de agua, suelo y sedimento fueron recolectadas, almacenadas y rotuladas debidamente para su conservación y transportadas al Laboratorio de Toxicología y Gestión Ambiental, de la Universidad de Córdoba siguiendo el método APHA 1992.

La determinación de mercurio en las muestras de agua, suelo y sedimento se realizó mediante la técnica de Absorción Atómica por Vapor Frío, en las instalaciones del Laboratorio de Toxicología y Gestión Ambiental de la Universidad de Córdoba y el muestreo de aire se realizó empleando la técnica de Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA) de Efecto Zeeman implementada para la determinación directa de mercurio en aire, en un analizador de mercurio LUMEX RA-915+ y siguiendo la metodología reportada por Sholupov et al. (2004).

2.2.3 Análisis estadístico

Los resultados de las muestras de agua, aire, suelo y sedimento se analizaron como la media del número de muestras tomadas, para ello se utilizó la prueba T de Student para evaluar si había diferencias significativas entre las concentraciones medias de dos puntos diferentes de muestreo. El criterio de significación se fijó en $p < 0,05$.

2.2.4 Balance de masa

Para estimar la cantidad de mercurio vertida al medio natural, se identificó la relación entre el oro producido y el mercurio no recuperado en el proceso, mediante la información levantada en campo y siguiendo el método descrito en la Guía Técnica General de Producción Más Limpia (2005), elaborada por Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles - CPTS.

2.2.5 Evaluación ambiental

La evaluación ambiental se realizó siguiendo lo planteado por Arboleda (2008):

- 1) Identificación de los impactos:** Se realizó mediante la aplicación de un diagrama de causa-efecto, que consiste en construir una red con las relaciones causa-efecto para la identificación de los impactos de una actividad, teniendo en cuenta las siguientes definiciones:

- **Acción:** Corresponde a las acciones del proyecto susceptibles de producir impacto (ASPI) que se identificaron en la etapa de caracterización del proyecto.
- **Efecto:** Es el proceso físico, biótico, social, económico o cultural que puede ser activado, suspendido o modificado por una determinada acción del proyecto y que puede producir cambios o alteraciones en las relaciones que gobiernan la dinámica de los ecosistemas o en los recursos naturales. También se refiere a la forma como se relaciona el proyecto con el ambiente, o sea, a los aspectos ambientales.
- **Impacto:** Corresponde al concepto que se ha estado manejando, o sea, el cambio neto que se produce en esas condiciones ambientales que se están analizando.

Matriz de evaluación de impactos (Método EPM): Fue desarrollado por la Unidad Planeación Recursos Naturales de las Empresas Públicas de Medellín en el año 1986, con el propósito de evaluar proyectos de aprovechamiento hidráulico de la empresa, pero posteriormente se utilizó para evaluar todo tipo de proyectos de EPM y ha sido utilizado por otros evaluadores para muchos tipos de proyectos con resultados favorables. Ha sido aprobado por las autoridades ambientales colombianas y por entidades internacionales como el Banco Mundial y el BID.

a) **Los parámetros de evaluación.** Cada impacto se debe evaluar con base en los siguientes parámetros o criterios:

Clase (C): Este criterio define el sentido del cambio ambiental producido por una determinada acción del proyecto, el cual puede ser: Positivo (+, P) si mejora la condición ambiental analizada o Negativo (-, N) si la desmejora.

Presencia (P): En la mayoría de los impactos hay certeza absoluta de que se van a presentar, pero otros pocos tienen un nivel de incertidumbre que debe determinarse. Este criterio califica la posibilidad de que el impacto pueda darse y se expresa como un porcentaje de la probabilidad de ocurrencia, de la siguiente manera:

- Cierta: si la probabilidad de que el impacto se presente es del 100% (se califica con 1.0)
- Muy probable: si la probabilidad está entre 70 y 100 % (se califica entre 0.7 y 0.99)

- Probable: si la probabilidad está entre 40 y 70 % (0.4 y 0.69)
- Poco probable: si la probabilidad está entre 20 y 40 % (0.2 y 0.39)
- Muy poco probable: si la probabilidad es menor a 20 % (0.01 y 0.19)

Duración (D): Con este criterio se evalúa el período de existencia activa del impacto, desde el momento que se empiezan a manifestar sus consecuencias hasta que duren los efectos sobre el factor ambiental considerado. Se debe evaluar en forma independiente de las posibilidades de reversibilidad o manejo que tenga el impacto. Se expresa en función del tiempo de permanencia o tiempo de vida del impacto, así:

- Muy larga o permanente: si la duración del impacto es mayor a 10 años (se califica con 1.0)
- Larga: si la duración es entre 7 y 10 años (0.7 – 0.99)
- Media: si la duración es entre 4 y 7 años (0.4 y 0.69)
- Corta: si la duración es entre 1 y 4 años (0.2 y 0.39)
- Muy corta: si la duración es menor a 1 año (0.01 y 0.19)

Evolución (E): Califica la rapidez con la que se presenta el impacto, es decir la velocidad como éste se despliega a partir del momento en que inician las afectaciones y hasta que el impacto se hace presente plenamente con todas sus consecuencias. Este criterio es importante porque dependiendo de la forma como evoluciona el impacto, se puede facilitar o no la forma de manejo. Se expresa en términos del tiempo transcurrido entre el inicio de las afectaciones hasta el momento en que el impacto alcanza sus mayores consecuencias o hasta cuando se presenta el máximo cambio sobre el factor considerado, así:

- Muy rápida: cuando el impacto alcanza sus máximas consecuencias en un tiempo menor a 1 mes después de su inicio (se califica con 1.0)
- Rápida: si este tiempo está entre 1 y 12 meses (0.7 – 0.99)
- Media: si este tiempo está entre 12 y 18 meses (0.4 y 0.69)
- Lenta: si este tiempo está entre 18 y 24 meses (0.2 y 0.39)
- Muy lenta: si este tiempo es mayor a 24 meses (0.01 y 0.19)

Magnitud (M): Este criterio califica la dimensión o tamaño del cambio sufrido en el factor ambiental analizado por causa de una acción del proyecto. Se expresa en términos

del porcentaje de afectación o de modificación del factor (por este motivo también se denomina magnitud relativa) y puede ser:

- Muy alta: si la afectación del factor es mayor al 80%, o sea que se destruye o cambia casi totalmente (se califica con 1.0)
- Alta: si la afectación del factor está entre 60 y 80 %, o sea una modificación parcial del factor analizado (se puede calificar 0.7 – 0.99)
- Media: si la afectación del factor está entre 40 y 60 %, o sea una afectación media del factor analizado (0.4 y 0.69)
- Baja: si la afectación del factor está entre 20 y 40 %, o sea una afectación baja del factor analizado (0.2 y 0.39)
- Muy baja: cuando se genera una afectación o modificación mínima del factor considerado, o sea menor al 20 % (0.01 y 0.19).

b) **La calificación ambiental del impacto.** La calificación ambiental (C_a) es la expresión de la acción conjugada de los criterios con los cuales se calificó el impacto ambiental y representa la gravedad o importancia de la afectación que este está causando.

$$C_a = C(P[aE \times M + bD]) \quad (1)$$

C_a será mayor que cero y menor o igual que 10.

Donde:

C_a = Calificación ambiental

C = Clase,

P = Presencia

E = Evolución

M = Magnitud

D = Duración

$a = 7.0$

$b = 3.0$

El valor numérico que arroja la ecuación se convierte luego en una expresión que indica la importancia del impacto asignándole unos rangos de calificación de acuerdo con los resultados numéricos obtenidos, de la siguiente manera:

Tabla 1. Calificación ambiental e importancia del impacto ambiental

CALIFICACIÓN AMBIENTAL (puntos)	IMPORTANCIA DEL IMPACTO AMBIENTAL
≤ 2.5	Poco significativo o irrelevante
> 2.5 y ≤ 5.0	Moderadamente significativo o moderado
> 2.5 y ≤ 5.0	Significativo o relevante
> 7.5	Muy significativo o grave

Fuente: Arboleda G, Jorge A., Manual para la evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades 2008.

Finalmente, a partir de lo anterior se realizó una propuesta de producción limpia basada en (i) la bibliografía existente sobre la implementación de tecnologías limpias en la etapa que comprende el proceso de beneficio de oro y (ii) la mejor alternativa en términos económicos y de eficiencia para el proceso de beneficio del oro en el área de estudio.

3 RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN SEDIMENTO Y AGUA

La **Tabla 2** muestra las concentraciones de mercurio en sedimentos y agua recolectados en los puntos de estudio.

Tabla 2. Concentraciones de mercurio en sedimentos y agua

Mina	Descripción	Sedimento ($\mu\text{g Kg}^{-1}$)	Agua ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Coordenadas	
				Latitud Norte	Longitud Oeste
Mina La Granja	Descarga-Vertimiento	203,72	0,20	7° 34' 19.3''	74° 48' 17.5''
	Rio Tigüi	561,91	1,76	7° 34' 15.9''	74° 48' 19.0''
Mina Real	Poza de Recirculación	361,90	1,02	7° 37' 16.0''	74° 46' 38.6''
Mina 505	Poza de Recirculación	1220,69	0,22	7° 40' 04.0''	74° 48' 36.8''
Mina El Tejar	Descarga Mina	65,71	0,41	7° 42' 41.9''	74° 44' 37.8''
Mina la Florida	Descarga Pozo Sedimentación	9317,15	1,44	7° 43' 35.1''	74° 43' 22.1''
	Poza de sedimentación	10705,80	0,15	7° 43' 35.8''	74° 43' 21.8''
	Poza agua subterránea	1290,77	0,14	7° 43' 34.2''	74° 43' 21.4''

Fuente: Grupo de trabajo.

Los datos obtenidos a partir de las muestras de sedimento en los puntos de descarga permitieron observar diferencias significativas ($p < 0,05$) entre la mina La Florida y los sedimentos de las minas El Tejar y La Granja. Asimismo, para el sedimento en los pozos de sedimentación/recirculación la mina La Florida presenta diferencias significativas ($p < 0,05$) respecto a las minas El Real y mina 505.

Los lugares con altas concentraciones comprobadas de mercurio (zonas mineras críticas), son fuentes importantes de dispersión del mercurio en los sistemas acuáticos y contribuyen en la entrada del mercurio en los peces, la fauna y flora silvestres, con los efectos consiguientes en la vida de miles de personas, tanto de las que participan directamente en las actividades mineras como de las que viven en las cercanías (Español C, S 2012).

Los niveles de mercurio en sedimentos varían entre 561,91 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ y 203,72 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ para las minas La Granja, Real, y en menor concentración mina El Tejar con valor de 65,71 $\mu\text{g Kg}^{-1}$. Para los pozos de recirculación en la mina 505 y mina El Real, los resultados muestran concentraciones de mercurio en sedimentos de 1220,69 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ y 361,90 $\mu\text{g Kg}^{-1}$, respectivamente; evidenciándose una clara diferencia a pesar de emplear el mismo proceso de extracción de oro. Lo anterior se debe a que la cantidad de mercurio utilizada en la mina El Real es mucho menor que en la mina 505 (Ver **Tabla 5**) y que, aunado a la continua explotación realizada en esta última, ocasiona una mayor acumulación de mercurio en los sedimentos derivados del proceso de concentración del mineral realizado en los canalones.

Para el caso de la mina la Florida (explotación en filón) se obtuvo la mayor concentración de mercurio en sedimentos para toda el área de estudio, ya que a diferencia de las minas descritas anteriormente, en la Florida no se recircula el agua procedente del proceso de molienda sino que se almacena en un pozo de sedimentación donde existe una mayor acumulación de mercurio en los sedimentos (10705,80 $\mu\text{g Kg}^{-1}$) ya que los tiempos de retención son mucho más altos que en los pozos de recirculación; asimismo, se evidenció una clara infiltración de mercurio hacia el pozo de aguas subterráneas al obtenerse una concentración de 1290,77 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ en los sedimentos.

Si bien a nivel internacional se tienen reportes de contenidos de mercurio superiores en los sedimentos, producto del beneficio del oro, los cuales alcanzan valores de 7400 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ en Carolina del Norte (EEUU); 32000 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ en Mindanao (Filipinas) (Appleton, *et al.* 2001), y 157000 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ en Brasil (Lacerda, *et al.* 2008), en estos lugares la explotación minera está más desarrollada y la producción es mucho mayor, razón por la cual las concentraciones por este metal son mucho más elevadas que en la zona de El Bagre.

De igual forma, al comparar las concentraciones de mercurio en los sedimentos de los sitios muestreados con referentes internacionales como Canadá que ha establecido un límite de concentración de mercurio en sedimentos para la protección de la vida acuática de 140 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ (Gaudet *et al.*, 2005) y Estados Unidos en donde 150 $\mu\text{g Kg}^{-1}$ es considerada como la concentración por debajo de la cual es poco probable que se

presenten efectos biológicos indeseables (Long, *et al.*, 1998), se pudo establecer que son excesivamente altas y que pueden ser potencialmente peligrosos para la vida acuática en caso de ser liberados al ambiente.

Por consiguiente, al ser el mercurio en los sedimentos un reflejo de los procesos de transporte en una cuenca, este puede ser un indicador de los patrones de uso del suelo, así como de los patrones de deposición del mercurio, a través del tiempo y el espacio (Krabbenhof, *et al.*, 2006) en el presente caso, se puede observar que las concentraciones de mercurio reflejan la presencia de actividades antropogénicas (minería) que liberan este metal al ambiente.

En relación a las concentraciones de mercurio en el agua, los datos obtenidos en los puntos de descarga permitieron observar diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las muestras de agua de la mina La Florida y las minas El Tejar y La Granja. Lo anterior se debe a que la mina La Florida presenta un sistema de beneficio del oro (molienda en barril/cocos) el cual utiliza una mayor cantidad de mercurio por oro producido (4:1, ver **Tabla 5**) mientras que en la mina El Tejar y La Granja emplean el método de concentración en canalón en el cual la relación mercurio utilizado por oro producido es 1,634:1 y 1,451:1, respectivamente (Ver **Tabla 5**).

Asimismo, para el agua en los pozos de sedimentación/recirculación la mina El Real presenta diferencias significativas ($p < 0,05$) respecto a las minas La Florida y mina 505. Aunque las minas El Real y 505 emplean pozas de recirculación de agua que funcionan como vertederos de las descargas del proceso de amalgamación, se presentaron diferencia en las concentraciones de mercurio en agua, ya que: (i) en la mina 505 se utiliza grandes cantidades de mercurio (22,420 lb/mes, ver **Tabla 5**) que inciden en una mayor tasa de sedimentación ($1220,69 \mu\text{g Kg}^{-1}$) mientras que en la mina El Real la cantidad de mercurio utilizado es solo de 0,820 lb/mes y no presenta mucha sedimentación ($361,9 \mu\text{g Kg}^{-1}$), y (ii) a que en la mina 505 se evidencia una clara filtración hacia los suelos cercanos de la poza de recirculación ($1183,62 \mu\text{g Kg}^{-1}$) mientras que en la mina El Real la concentración de mercurio en los suelos es de $173,07 \mu\text{g Kg}^{-1}$. Para la mina La Florida la concentración de mercurio en el agua es baja ($0,15 \mu\text{g Kg}^{-1}$) con respecto a la mina el Real

(1,02 $\mu\text{g Kg}^{-1}$), ya que no se recircula el agua depositada por lo que el proceso de sedimentación es mucho más notable (10705,8 $\mu\text{g Kg}^{-1}$).

Para la mina La Granja, y en particular el río Tigui se obtuvo la concentración más elevada (1,76 $\mu\text{g L}^{-1}$) de mercurio en el agua, como consecuencia de los vertimientos de aguas residuales mineras procedentes de la extracción de oro que realiza la minería artesanal en los municipios aguas arriba (Cordy *et al.*, 2011)

Al comparar estas concentraciones con casos a nivel internacional, se evidencia que se encuentran por encima de lo reportado en el Río Madeira - Brasil (0.04 - 0.46 $\mu\text{g L}^{-1}$) (García, 2013) y rebasa el límite de calidad para la protección de la vida acuática de Canadá, el cual es de 0.1 $\mu\text{g L}^{-1}$ (British Columbia, 2001). De forma similar resultan mayor que los reportados en Colombia para otras zonas con tradición minera, como el caso del sector de Gramalote en la quebrada El Bazal en Antioquia, donde se reportan valores de 1,1 $\mu\text{g L}^{-1}$ durante el monitoreo llevado a cabo en el año 2009 como parte del Programa de Monitoreo de Pasivos Ambientales, desarrollado por la compañía B2GOLD. (Machado *et al* 2010)

En relación a las concentraciones de mercurio en agua, las minas 505, La Granja, El Tejar y La Florida (los pozos de sedimentación y subterránea) varían entre 0,14 y 0,41 $\mu\text{g L}^{-1}$, y se encuentran por debajo del nivel máximo para la calidad del agua de 1 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Resolución 2115 de 2005) y nivel máximo permisible para descargas de efluentes mineros de 2 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Resolución 0631 de 2015) establecidos por la norma colombiana, sin embargo estas concentraciones están ligeramente por debajo del valor máximo permisible para la vida acuática de la EPA (1995) con valor de 0,77 $\mu\text{g L}^{-1}$. En contraste, las concentraciones determinadas en mina La granja (Río Tigüí), mina El Real y mina La Florida de 1,76, 1,44 y 1,02 $\mu\text{g L}^{-1}$ respectivamente, sobrepasan el límite para la vida acuática establecida por la EPA y el de calidad del agua en Colombia.

3.2 CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN AIRE

El mercurio es un metal pesado que a temperatura ambiente se vaporiza, pudiendo permanecer en la atmósfera hasta por un año (Rutowski et al., 2006). Cuando se libera al aire, es transportado y depositado globalmente (Olivero, 2002). La vía de exposición que más debe preocupar a los mineros es la inhalación del vapor de mercurio que se libera durante la quema de las amalgamas que a menudo se realiza en presencia de otras personas o incluso en el hogar. Esta situación de exposición a mercurio elemental, conlleva el riesgo de padecer hidrargirismo o mercurialismo, que cursa con alteraciones funcionales expresadas en déficits orgánicos, neurológicos, cognitivos y psicológicos del individuo (Español C, S 2012).

En las minas Real, El Tejar y La Florida no se determinó concentración de mercurio en aire porque se presentó difícil acceso a la zona y la mayoría de las veces los propietarios aseguraban realizar la quema de la amalgama en otros sitios (compra-venta de oro) lo cual coincide con lo reportado por Cordy *et al.*, (2011) donde al estudiar la contaminación por mercurio en el departamento de Antioquia (incluido el municipio de El Bagre), encontraron que la amalgama es quemada en las compra-ventas de oro en áreas urbanas densamente pobladas sin ningún tipo de sistema, sin embargo se tomaron los sitios de compra-venta donde aseguran se realizan quemas y los cascos urbanos de El Bagre y el corregimiento El Real.

La **Tabla 3** muestra las concentraciones de mercurio encontrados en el muestreo de aire.

Tabla 3. Concentraciones de mercurio en aire

Localización	Descripción	Aire (ng m ⁻³)	Coordenadas	
			Latitud Norte	Longitud Oeste
Mina 505	a 200 m de la mina	1900,29	07° 40' 02,5''	74° 48' 43,3''
	Ruta Interna	2217,05	07° 40' 03,2''	74° 48' 43,2''
	A 50 m del quemador	2672,60	07° 40' 04,8''	74° 48' 42,0''
	Quemador	2806,24	07° 40' 05,2''	74° 48' 43,0''
Corregimiento El Real	Casco Urbano	702,18	07° 37' 20,7''	74° 47' 00,4''
	Compra Venta	1146,58	07° 38' 37,6''	74° 47' 01,7''
	Puente rio Nechí	1245,00	07° 37' 14,2''	74° 47' 04,0''
Corregimiento El Bagre	Casco Urbano	887,93	07° 36' 30,8''	74° 48' 22,6''
	Compra Venta	3173,85	07° 36' 09,8''	74° 48' 30,4''
Mina La Granja	A 300 m del quemador	2787,33	07° 33' 58,4''	74° 48' 04,4''
	Quemador	3201,57	07° 33' 59,5''	74° 48' 04,9''

Fuente: Grupo de trabajo.

Las concentraciones registradas de mercurio en el aire no presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre la mina 505 (2806,24 ng m⁻³) y mina La Granja (3201,57 ng m⁻³) debido a que en ambas minas el proceso de quemado de la amalgama se realiza a la intemperie y no cuentan con un sistema para captar el mercurio volatilizado.

Para los corregimiento de El Bagre y El Real se presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) en las muestras de aire tomadas en los cascos urbanos (887,93 ng m⁻³ y 702,18 ng m⁻³, respectivamente) y en las áreas de compra-venta (3173,85 ng m⁻³ y 1146,58 ng m⁻³, respectivamente), ya que en El Bagre no solo existe una gran afluencia de mineros que queman la amalgama en las compra-ventas, en busca de mejores tarifas para la compra del oro, sino que también se encuentran asentados un gran número de estos establecimientos.

Para la concentración de mercurio en el área urbana los resultados arrojaron niveles significativamente altos en las cabeceras municipales de El Bagre y El Real (3173,85 y 1146,58 ng m⁻³, respectivamente) y que superan las concentraciones reportadas en el aire para áreas urbanas cercanas a minería de oro, como en Yanwuping (China) con 46 ng m⁻³ (G. Qiu *et al.*, 2013) y Segovia (Antioquia) con un rango de 200-400 ng m⁻³ (Cordy *et al.*, 2013, citado por O. Garcia *et al.*, 2014)

De la **Tabla 3**, se pudo deducir que los valores más altos se registran donde se origina el foco de exposición al mercurio (quemadores de mina La Granja y Mina 505 y compraventas de El Bagre y El Real), y que presentan una disminución paulatina a medida que se alejan del foco contaminante, 1900,29 ng m⁻³ a 200 metros del quemador para la mina 505 y 2787,23 ng m⁻³ a 300 metros del quemador para la mina La Granja.

En relación a las concentraciones de mercurio en el aire al interior de las mina se observó que las minas 505 y La Granja presentaron niveles de mercurio entre los 1900,29 – 3201,57 ng m⁻³, que superan significativamente los reportados en estudios similares como en el caso de la región de Yanwuping, provincia de Guizhou (China) donde los niveles de mercurio en el aire alcanzaron los 12 – 180 ng m⁻³ (G. Qiu *et al.*, 2013), y aunque están por debajo de la concentración registrada (12782 ng m⁻³) en el área de procesamiento de oro Poboya, Indonesia, que es el área minera más activa del país (K. Nakazawa *et al.*, 2016) las concentraciones de mercurio en las minas 505 y La Granja resultan muy representativas considerando que en ellas solo se cuenta con un quemador.

A nivel internacional, las concentraciones halladas son sumamente elevadas con respecto a lo establecido por la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés) de 300 ng m⁻³ (Arrázola, 2011) y por la Organización Mundial de la Salud (WHO por sus siglas en inglés) de 200 ng m⁻³ (WHO, 2007), y constituyen un potencial factor de riesgo toxicológico comprometiendo la salud de las personas que están laborando en las minas así como la población en general, de los corregimientos de El Bagre y El Real, que se encuentran expuestos a una posible intoxicación por los vapores de mercurio que se liberan por la quema de la amalgama que se realiza en las minas y en las áreas de compra-venta.

3.3 CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN SUELO

La **Tabla 4** muestra las concentraciones de mercurio encontrados en el suelo.

Tabla 4. Concentraciones de mercurio en suelo

Mina	Descripción	Suelo ($\mu\text{g Kg}^{-1}$)	Coordenadas	
			Latitud Norte	Longitud Oeste
Mina La Granja	Descarga-Vertimiento	622,06	07° 34' 19.3''	74° 48' 17.5''
Mina Real	Suelo cerca de la descarga	1554,05	07° 42' 41.9''	74° 44' 37.8''
	Suelo Mina	173,07	07° 37' 19.4''	74° 46' 34.9''
Mina 505-Ponche	Frente de cola	390,60	07° 40' 04.3''	74° 48' 36.1''
	Poza De Recirculación	1183,62	07° 40' 02.6''	74° 48' 37.3''
Mina El Tejar	Descarga Mina	228,14	07° 42' 44.5''	74° 44' 36.8''
Mina La Florida	Descarga Pozo Residuo-Sed	734,41	07° 43' 35.1''	74° 43' 22.1''
	Poza De Sedimentación	531,92	07° 43' 35.8''	74° 43' 21.8''
	Poza Agua Subterránea	1949,93	07° 43' 34.2''	74° 43' 21.4''

Fuente: Grupo de trabajo.

Es común que en sitios cercanos a minas se encuentren áreas extensas con presencia de metales pesados, los cuales en altas concentraciones tienen efectos tóxicos y son considerados contaminantes capaces de alterar los ecosistemas y la salud humana (Guala *et al.*, 2010). Los metales pesados no parecen mostrar un riesgo notorio por debajo de cierto umbral (Guala *et al.*, 2010), para el mercurio la concentración en suelos no contaminados usualmente no sobrepasa los $7 \mu\text{g Kg}^{-1}$ (Lutz-Ehrlich H. 2005); además se han encontrado que las concentraciones de mercurio en suelos superficiales se deben probablemente por la deposición del mercurio atmosférico (T. Tomiyasu *et al.*, 2013).

Para las minas evaluadas se registraron concentraciones de mercurio diferenciadas en el mismo punto de muestreo, como es el caso de la mina Real donde se encontró una concentración de $173,07 \mu\text{g Kg}^{-1}$ en el suelo de la mina, mientras que en el suelo cerca de la descarga la concentración de mercurio fue de $1554,05 \mu\text{g Kg}^{-1}$ lo cual se debe a que este último actúa como principal sumidero de las constantes descargas derivadas del proceso de amalgamación. Este valor elevado sin duda indica la contaminación por el uso del metal en la minería, así como el foco de deposición del metal en el suelo.

Los datos obtenidos a partir de las muestras de suelo en los puntos de descarga permitieron observar diferencias significativas ($p < 0,05$) entre la mina El Real y las minas La Granja, El Tejar y La Florida, lo cual está directamente relacionado con lo descrito para las concentraciones de las aguas de vertimiento en los puntos de descarga, puesto que a mayor concentración de mercurio en los vertimientos (Mina El Real con $1,02 \mu\text{g Kg}^{-1}$) los suelos serán más susceptibles a ser afectados por el mercurio () y que se puede liberar a las aguas superficiales por largos periodos de tiempo; para el caso de la mina la florida se presentan fuertes procesos de sedimentación por lo cual no se encontraron grandes cantidades de mercurio en el suelo ($734,41 \mu\text{g Kg}^{-1}$) teniendo en cuenta los valores registrados en la mina El Real.

En la mina La Granja y La Florida no se presenta diferencias significativas ($p < 0,05$) en las muestras de suelo en los puntos de descarga debido a que prevalecen procesos de acumulación de mercurio en los sedimentos.

Entre la mina La Florida y la mina 505 se encontró diferencia significativa ($p < 0,05$) en las muestras de suelo en la poza de recirculación/sedimentación. Se encontró una elevada concentración de mercurio ($1183,62 \mu\text{g Kg}^{-1}$) en los suelos cercanos a la poza de recirculación de la mina 505 y que funciona como vertedero de las descargas del proceso de amalgamación, lo cual indica una clara filtración del agua que se almacena, así como una gran acumulación de mercurio en los sedimentos ($1220,69 \mu\text{g Kg}^{-1}$), mientras que en la mina La Florida prevalece en mayor medida la acumulación de mercurio en los sedimentos de la poza.

Los valores más altos se registraron en mina Real ($1554,05 \mu\text{g Kg}^{-1}$), mina 505 ($1183,62 \mu\text{g Kg}^{-1}$), Mina La Florida ($1949,93 \mu\text{g Kg}^{-1}$) sobrepasan el valor crítico de

mercurio para suelos agrícolas en Europa de $1000 \mu\text{g Kg}^{-1}$ (Camargo et al., 2014), el valor máximo permitido de mercurio para suelos agrícolas ($500 \mu\text{g Kg}^{-1}$) en Indonesia y concentración máxima de mercurio para suelos agrícolas ($200 \mu\text{g Kg}^{-1}$) establecida por el Estándar Nacional Chino (T. Tomiyasu *et al.*, 2013).

3.4 BALANCE MÁSIKO DE MERCURIO

Un balance de masa se define como la verificación de la igualdad cuantitativa de masas que deben existir entre los insumos de entrada y los productos y residuos de salida (Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles – CPTS 2005). En particular, el balance de masa del mercurio en el proceso de beneficio de oro artesanal o de pequeña escala es posible realizarlo a partir de la identificación de la relación entre el oro producido y el mercurio no recuperado en el proceso.

De esta forma, a través de la identificación en campo de la cantidad de oro producida y la cantidad de mercurio utilizado para su beneficio (excluyendo la parte recuperada en el proceso) es posible estimar la cantidad de mercurio vertida al medio natural. El balance de masa de mercurio, se realizó en cinco (5) minas del municipio de El Bagre, departamento de Antioquia y en función de los datos de oro producido en cada una de las minas, según información estadística reportada en el Sistema de Información Minero Colombiano, SIMCO de la Unidad de Planeación Minero Energética – UPME, entidad adscrita al Ministerio de Minas y Energía de Colombia.

A continuación, se presenta los resultados obtenidos luego de realizar el balance másico del mercurio:

Tabla 5. Relación mercurio gastado por oro producido en El Bagre

Punto Caliente (Mina)	Cantidad de Mercurio comprado (lb/mes)	Cantidad de Mercurio recuperado (lb/mes)	Total, Mercurio no recuperado (lb/mes)	Cantidad de Oro producido (lb/mes)	Relación Mercurio – Oro (Hg/Au) *
Mina La Granja.	4,410	-	4,410	3,040	1,451
Mina 505.	22,420	8,400	14,020	3,000	4,673
Mina El Real.	0,820	-	0,820	1,830	0,448
Mina La Florida.	2,200	-	2,200	0,550	4,000
Mina El Tejar.	1,650	-	1,650	1,010	1,634
Promedio.					2,441**

Fuente: Grupo de trabajo.

*La Relación Mercurio – Oro (Hg/Au) se halla aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Relación Mercurio – Oro (Hg/Au)} = \frac{\text{Total Mercurio no recuperado (lb/mes)}}{\text{Cantidad de Oro producido (lb/mes)}} \quad (2)$$

**El valor promedio se calcula realizando la sumatoria de los valores de la Relación Mercurio – Oro (Hg/Au) y dividiéndolos entre cuatro (4).

Las relaciones de Mercurio – Oro son muy diferentes en las minas estudiadas. Tal es el caso de la Mina El Real donde la relación de mercurio no recuperado y oro producido es de 0,488:1 en comparación con la mina 505 con una relación de 4,673:1. Las minas El Tejar y La Granja presentan relaciones muy similares con valor de 1,451 y 1,634 g Hg/Au respectivamente.

El contraste que se registra en la relación de mercurio no recuperado y oro producido, se debe a las diferentes técnicas que utiliza cada sitio para obtener oro, en comparación la mina El Real no realiza la actividad minera de manera continua sino periódicamente, debido a que dependen de maquinarias alquiladas, en cambio las minas 505 y La Granja

poseen sus propios equipos lo que les permite desarrollar continuamente la explotación de oro.

La relación promedio de mercurio no recuperado/oro producido para las minas es de 2,441:1, esta relación resulta un poco menor a la reportada en la Sinopsis Nacional de la Minería Artesanal y a Pequeña Escala (2012) cuyo valor es de 3:1, en el caso de explotación con mini-dragas, que utilicen concentración en canaletas y amalgamación en pequeños canalones o baldes y en el caso de dragones modificados y placas amalgamadoras y/o amalgamación de concentrados en pequeños canalones, con utilización de retroexcavadoras para alimentar el mineral a un sistema de clasificación por tamaños.

Por otra parte, hay que considerar que en el municipio de El Bagre la empresa Mineros S.A. concentra el mayor porcentaje de explotación legal de oro. En la **Tabla 6**, se muestra un comparativo de la cantidad de oro que se produce en El Bagre y el porcentaje que representa la productividad de esta empresa.

Tabla 6. Producción Total de Oro y Oro producido por Mineros S.A.

Año	Producción de oro Mineros S.A. (gr)*	Producción Total de oro en el Bagre (gr)**	Porcentaje de oro legal en El Bagre (%)
2011	2606484	2997045,86	86,97
2012	2667860	5548356,27	48,08
2013	2675656	6774193,67	39,50
2014	2768643	6137262,97	45,11

Fuente: Mineros S.A, Informes Financieros 2011 - 2014*, SIMCO, Producción de Oro por Municipio Anual 2001 - 2015**.

Para el Balance de masas y el establecimiento del mercurio no recuperado, es necesario restar de la producción total de oro en el municipio la cantidad producida por la minería legal, debido a que ésta no utiliza mercurio para el beneficio. La producción de oro en el municipio de El Bagre, según el SIMCO, y la cantidad promedio de mercurio no recuperado correspondiente a los años 2011 a 2014, se muestra en la **Tabla 7**, la cual se proyectó teniendo en cuenta la relación hallada en este estudio para El Bagre (2,441:1).

Tabla 7. Producción de Oro en el municipio de El Bagre y cantidad promedio de mercurio no recuperado y vertido al ambiente natural

Año	Producción de oro minería artesanal y/o ilegal (gr)	Mercurio promedio no recuperado (gr)
2011	390561,86	953419,462
2012	2880496,27	7031718,88
2013	4098537,67	10005138,70
2014	3368619,97	8223301,27
Promedio		6553394,58

Fuente: Grupo de trabajo.

De acuerdo a lo anterior, se ha vertido en los últimos años un promedio de 6553394,58 gramos de mercurio, es decir, 6553,39 kilogramos de mercurio por año en el municipio de El Bagre, debido a su uso en el beneficio de oro.

3.5 EVALUACIÓN AMBIENTAL

3.5.1 Identificación de Impactos Ambientales

El **grafico 1** muestra el diagrama causa-efecto para la identificación de los potenciales impactos de la minería en el área de estudio:

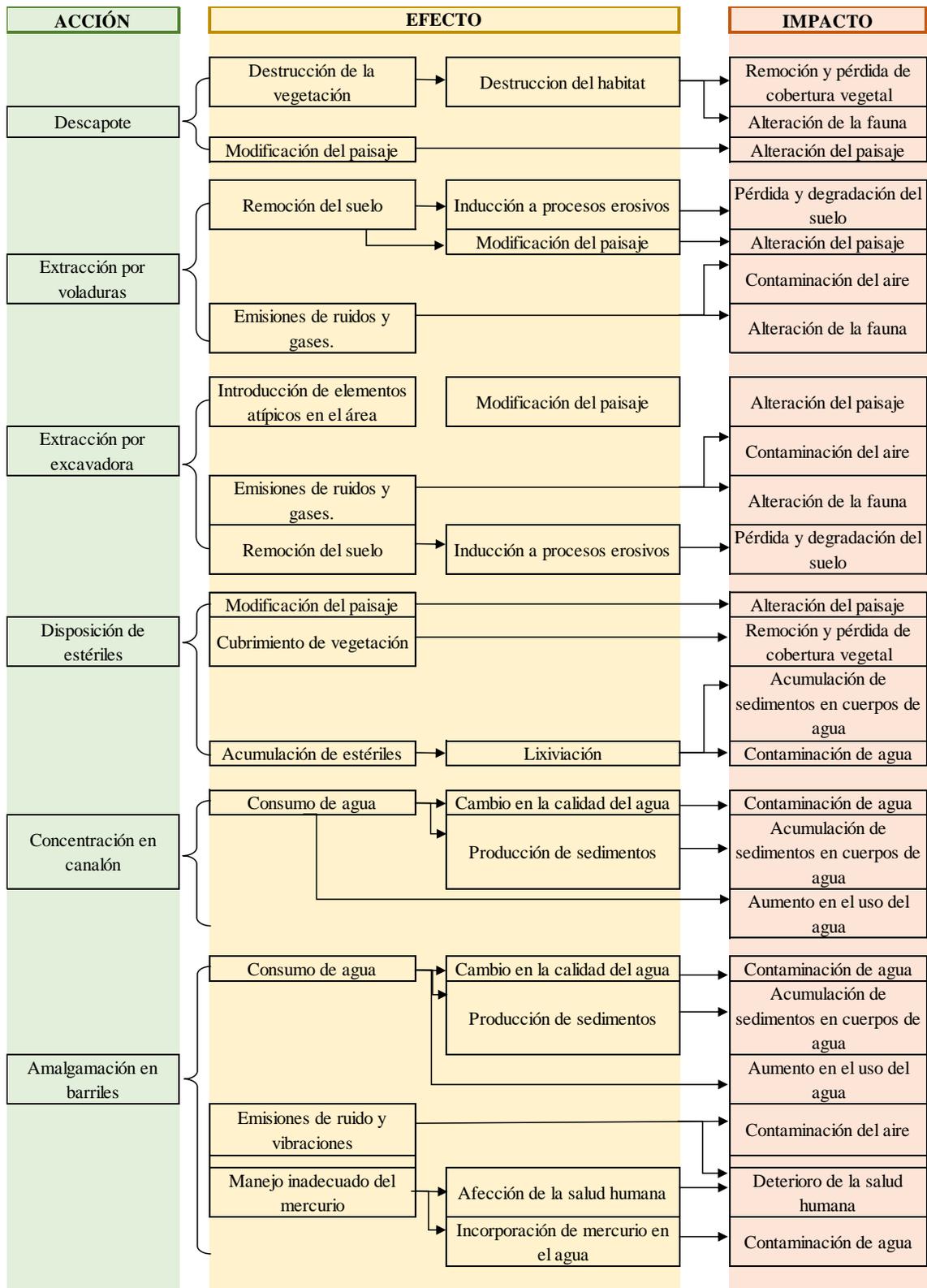
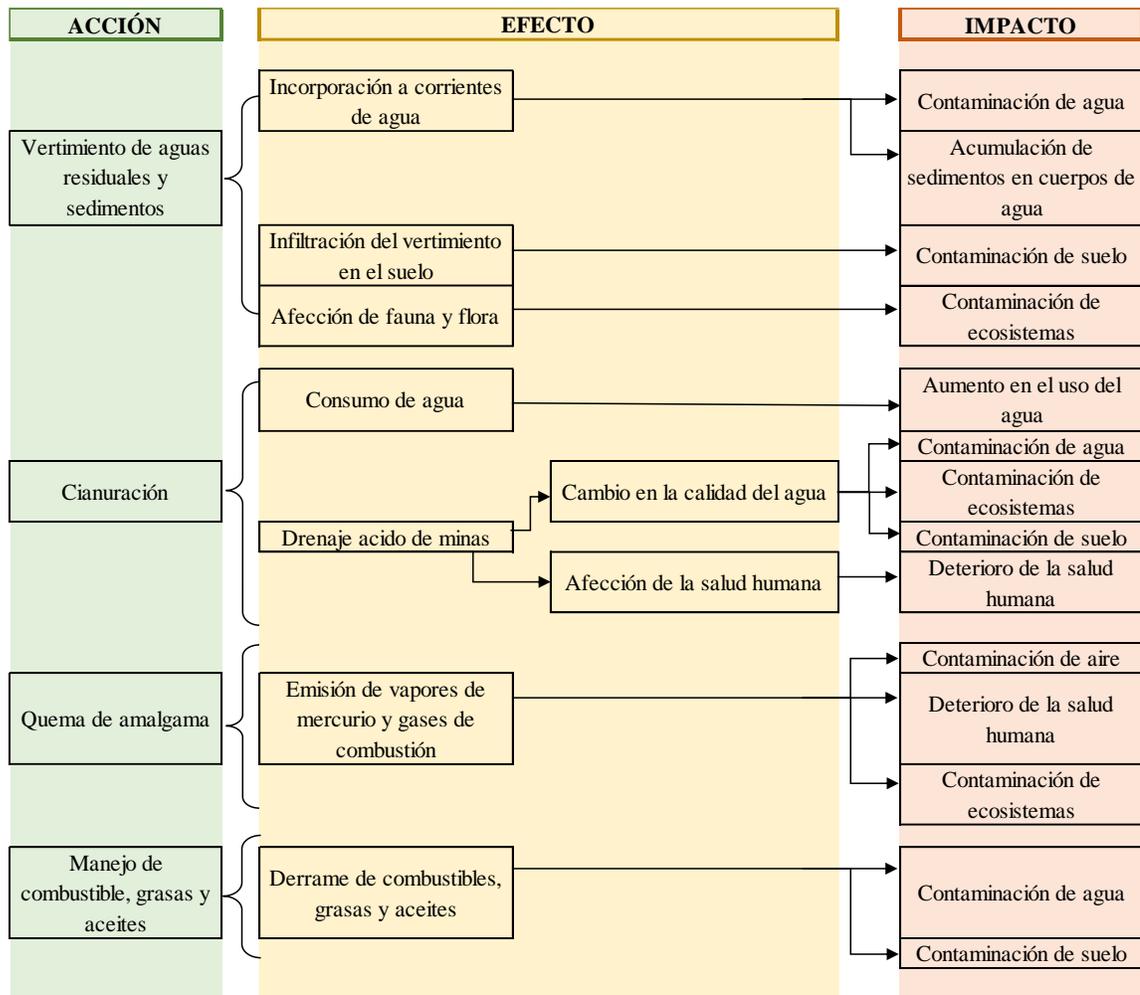


Gráfico 1. Diagrama causa - efecto para minería aurífera

Continúa siguiente página

Diagrama causa - efecto continuación



Fuente: Grupo de trabajo.

3.5.2 Evaluación ambiental, método EPM

A continuación, se desarrolla la evaluación de los impactos identificados y se puede ver de manera simplificada en el **Anexo 4**:

Tabla 8. Evaluación de impactos por el método EPM

COMPONENTE	FLORA			
IMPACTO	ACTIVIDADES INVOLUCRADAS	CLASE	CALIFICACIÓN	IMPACTO AMBIENTAL
Remoción y pérdida de cobertura vegetal	Descapote	Negativo	4,47	Moderado
	Disposición de estériles			
Descripción general del impacto				
Cambios en el área de la cobertura vegetal existente, por la remoción o disposición de estériles. Características: Afectación, pérdida o fragmentación de hábitats, cambios en la estructura y composición de la vegetación, disminución de la calidad de hábitat para diferentes grupos taxonómicos, alteración de la dinámica ecosistémica.				
Presencia	1,0	La presencia de este impacto será completamente cierta, debido a que no existe otra alternativa que se pueda utilizar para realizar la extracción de oro del subsuelo.		
Evolución	0,3	Se considera un impacto de evolución lenta, puesto que el proceso de remoción de la capa vegetal se realizará paulatinamente y conforme se requiera acceso a material donde encuentra el oro.		
Duración	1,0	Se considera un impacto de duración permanente, puesto que las condiciones naturales de la zona, al igual que su flora se verán afectadas con la pérdida de la capa vegetal. Es posible que solo sobreviva una especie de rápida adaptación, pero todas aquellas que requieren mayores tiempos de crecimiento y establecimiento, fácilmente perderán la competencia.		
Magnitud	0,7	Se considera un impacto de magnitud alta, puesto que la remoción de la cobertura vegetal se realiza por tajos, conforme se va realizando la explotación del oro.		

Continúa siguiente página.

Continuación:

COMPONENTE		FLORA		
IMPACTO	ACTIVIDADES INVOLUCRADAS	CLASE	CALIFICACIÓN	IMPACTO AMBIENTAL
Contaminación de ecosistemas	Vertimiento de aguas residuales	Negativo	5,58	Relevante
	Vertimiento de sedimentos contaminados			
	Cianuración			
	Calcinación y tostación			
Descripción general del impacto				
Producto de los vertimientos de aguas residuales y sedimentos contaminados con mercurio, combustibles, aceites, lubricantes, residuos sólidos, disposición de estériles. Características: Alteración de las poblaciones y de la distribución de especies de flora terrestre y acuática asociada a los ecosistemas transformados (contaminados). Pérdida de especies endémicas.				
Presencia	0,9	Es muy probable que se presente este impacto, debido a que existen vertimientos directos y difusos de aguas y sedimentos contaminados con mercurio.		
Evolución	0,5	Se considera un impacto de evolución media, principalmente por la incorporación del mercurio en el ambiente es lenta, la pérdida de hábitats y el acceso a zonas de alimentación como de anidación se pueden perder conforme se transforme las coberturas vegetales y se afecten los cuerpos de agua.		
Duración	0,9	La duración se considera larga, debido a la persistencia que tiene el mercurio en el ambiente.		
Magnitud	1	Se considera un impacto de magnitud muy alta puesto que el mercurio se transporta rápidamente en corrientes de agua, escorrentías y en los vientos llegando fácilmente a otras áreas alejadas de la mina.		

Continúa siguiente página.

Continuación

COMPONENTE		FAUNA		
IMPACTO	ACTIVIDADES INVOLUCRADAS	CLASE	CALIFICACIÓN	IMPACTO AMBIENTAL
Alteración de la fauna silvestre	Descapote	Negativo	3,7	Moderado
	Extracción por excavadora			
	Extracción por voladuras			
	Molienda en barriles			
Descripción general del impacto				
<p>Producto del cambio o pérdida en la cobertura vegetal y la incorporación de nuevos elementos en el ecosistema como maquinaria, equipos para el beneficio del oro, etc. Además, el desplazamiento temporal de fauna local producto de las actividades propias del proceso de extracción y beneficio.</p> <p>Características: Pérdida de la calidad y cantidad de hábitats para fauna terrestre y acuática. Alteración de las dinámicas y movimientos de poblaciones y comunidades.</p>				
Presencia	0,8	Se considera un impacto de presencia muy probable, principalmente por el ruido de maquinaria y personal que ahuyenta y dispersa las especies. Para el caso de las especies acuáticas su alteración es marcada con la pérdida de la calidad del agua.		
Evolución	0,6	Se considera un impacto de evolución media, puesto que las actividades asociadas generan gradualmente modificaciones de tipo negativo en el hábitat de la fauna terrestre y acuática, como consecuencia directa de la remoción de las coberturas vegetales componente central de su desarrollo como especie.		
Duración	0,7	Se considera un impacto de duración largo principalmente por la pérdida de lugares propicios para su alimentación, anidación, reproducción y desplazamiento.		
Magnitud	0,6	Se considera un impacto de magnitud media debido a que hay una modificación gradual del área intervenida.		

Continúa siguiente página.

Continuación

COMPONENTE		AGUA		
IMPACTO	ACTIVIDADES INVOLUCRADAS	CLASE	CALIFICACIÓN	IMPACTO AMBIENTAL
Contaminación del agua	Vertimiento de aguas residuales y sedimentos	Negativo	7,83	Grave
	Concentración en canalón			
	Molienda en barriles			
	Cianuración			
	Amalgamación			
	Derrames de combustibles y aceites			
	Disposición de estériles			
Descripción general del impacto				
<p>Incorporación de elementos atípicos a las aguas, como: aguas residuales con mercurio, combustibles, lodos contaminados con mercurio, que afectan las propiedades físicas y químicas del agua para el consumo humano, agrícola, pesca, pecuario y recreativo. Características: Alteración de la calidad física y química (por sustancias químicas, vertimiento directo de residuos de mercurio, contaminación con residuos sólidos u otras sustancias propias de la actividad) y cambios en la dinámica hidrológica.</p>				
Presencia	1,0	Los cuerpos de agua se verán afectados directamente por la actividad minera, por ser los principales receptores de las descargas de los vertimientos que se producen en las minas.		
Evolución	0,69	Se considera que la evolución será rápida, debido al desmedido consumo de agua en los procesos de beneficio, lo que representa una alta tasa de aguas residuales con mercurio hacia los cuerpos de agua.		
Duración	1,0	Se considera que la duración va ser muy larga o permanente debido al periodo prolongado de explotación y beneficio.		
Magnitud	1,0	Se considera la afectación de la magnitud es muy alta, debido a que es inevitable controlar en su totalidad el drenaje ácido, vertimiento de sedimentos y aguas contaminadas con mercurio, sobretodo en una zona con alta pluviosidad.		

Continúa siguiente página.

Continuación:

COMPONENTE	AGUA			
IMPACTO	ACTIVIDADES INVOLUCRADAS	CLASE	CALIFICACIÓN	IMPACTO AMBIENTAL
Acumulación de sedimentos en cuerpos de agua	Disposición de estériles	Negativo	3,33	Moderado
	Vertimiento de sedimentos contaminados			
	Concentración en canalón			
	Concentración en barriles			
Descripción general del impacto				
Aporte de sedimentos (por manejo inadecuado de residuos, estériles, escombros y escorrentía)				
Características: Cambios en la dinámica hidrológica (obstrucción, incremento en las cargas de sedimento de transporte).				
Presencia	0,9	Es muy probable que se incremente la carga de sedimentos en los cuerpos de agua, debido a las grandes cantidades de suelo que son removidos y que se descargan al medio por parte de la minería aluvial.		
Evolución	0,2	La evolución se considera lenta, principalmente por la acción natural que tienen los cuerpos de agua (como ríos, arroyos) para depositar los excesos de sedimentos sobre sus llanuras.		
Duración	1,0	Se considera muy larga la duración del impacto, debido a la existencia misma de la minería en la zona de estudio.		
Magnitud	0,5	Se considera que la magnitud será media puesto que el vertimiento de sedimento a los cuerpos de agua está relacionado con el avance de la explotación.		

Continúa siguiente página.

Continuación:

COMPONENTE		AGUA		
IMPACTO	ACTIVIDADES INVOLUCRADAS	CLASE	CALIFICACIÓN	IMPACTO AMBIENTAL
Aumento en el uso del agua	Concentración en canalón	Negativo	6,15	Relevante
	Amalgamación			
	Concentración en barriles			
	Cianuración			
Descripción general del impacto				
Uso excesivo de agua en el proceso de beneficio del oro.				
Presencia	1,0	El impacto es cierto, porque no se conoce otro método para la extracción del oro sin utilizar agua.		
Evolución	0,5	Es un impacto de evolución media, sobre todo porque se presenta en la etapa de beneficio donde es mayor consumo agua.		
Duración	1,0	La duración es muy larga, porque el proceso de beneficio es ininterrumpido.		
Magnitud	0,9	La magnitud del impacto es alta, debido a que se presentan altos consumos de agua en los procesos de beneficio en el área de estudio.		

Continúa siguiente página.

Continuación

COMPONENTE		AIRE		
IMPACTO	ACTIVIDADES INVOLUCRADAS	CLASE	CALIFICACIÓN	IMPACTO AMBIENTAL
Contaminación de aire	Perforación y voladuras	Negativo	9,3	Grave
	Extracción por excavadora			
	Calcinación y tostación			
Descripción general del impacto				
Incremento en la concentración de compuestos gaseosos (vapores de mercurio, monóxido de carbono) y material particulado del área, alteración en la calidad del aire, afectaciones en la salud de la población, vegetación y fauna. Características: Generación de material particulado y emisión de vapores de mercurio.				
Presencia	1,0	La presencia del impacto es cierta, se presenta principalmente por la emisión de vapores de mercurio directamente al ambiente, los cuales son altamente contaminantes, el ruido y material particulado son bajos, pero incrementan en la contaminación.		
Evolución	0,9	Teniendo presente que las emisiones de vapores de mercurio son periódicas, hace que la evolución del impacto sea rápida.		
Duración	1,0	La duración del impacto es muy larga, por el tiempo prolongado de exposición a mercurio en el aire.		
Magnitud	1,0	Los niveles de mercurio sobrepasan los límites permisibles.		

Continúa siguiente página.

Continuación:

COMPONENTE		SUELO		
IMPACTO	ACTIVIDADES INVOLUCRADAS	CLASE	CALIFICACIÓN	IMPACTO AMBIENTAL
Contaminación de suelo	Vertimiento de aguas residuales.	Negativo	3,47	Moderado
	Vertimiento de sedimentos contaminados.			
	Manejo de combustibles, grasas y aceites.			
	Cianuración			
Descripción general del impacto				
<p>Incorporación de mercurio, combustibles, grasas y aceites en el suelo producto de la actividad de beneficio del oro.</p> <p>Características: Alteración de las propiedades físicas y químicas del suelo, vertimiento directo de aguas residuales; generación de lixiviados, generación de estériles y escombros.</p>				
Presencia	0,9	Se considera un impacto muy probable puesto que las características del suelo se pueden alterar por el vertimiento de sustancias contaminantes como el mercurio, derrames de combustibles, grasas y aceites, sumado a esto la eliminación de la cobertura vegetal y la capa orgánica.		
Evolución	0,5	Se considera un impacto de evolución media, debido a la capacidad que tiene el suelo para neutralizar sustancias contaminantes.		
Duración	0,7	Se considera un impacto de duración larga, debido a que el mercurio como principal método para extraer el oro, ha sido utilizado por un largo periodo de tiempo.		
Magnitud	0,5	Aunque las características del suelo pueden ser modificadas por acción del mercurio, se considera de magnitud media debido a la capacidad de depuración que posee el suelo.		

Continúa siguiente página.

Continuación:

COMPONENTE	SUELO			
IMPACTO	ACTIVIDADES INVOLUCRADAS	CLASE	CALIFICACIÓN	IMPACTO AMBIENTAL
Pérdida y degradación del suelo	Extracción por excavadora	Negativo	6,50	Relevante
	Perforación y voladura			
Descripción general del impacto				
<p>La pérdida de la estructura del suelo, aumento de la sedimentación, la remoción en masa y la pérdida de la capacidad productiva natural del suelo. Las características fisicoquímicas y microbiológicas del suelo se pueden alterar inicialmente por la eliminación de la cobertura vegetal y la capa orgánica, generando un deterioro progresivo del mismo y generación de procesos erosivos producto de la remoción de capa vegetal.</p> <p>Características: Remoción en masa y pérdida del suelo, activación de procesos erosivos, alteración o pérdida de la función de soporte físico de ecosistemas.</p>				
Presencia	1,0	Se considera un impacto de presencia cierta, ya que para llegar al oro se necesita remover el suelo y subsuelo.		
Evolución	0,5	Se considera un impacto de evolución media, puesto que sus efectos se manifiestan principalmente en la etapa explotación.		
Duración	1,0	Se considera un impacto permanente puesto que las características originales de función y estructura que tiene el suelo y subsuelo cambiarán significativamente.		
Magnitud	1,0	Se considera un impacto de magnitud muy alta debido a que la afectación del mismo destruye o cambia la estructura del suelo y subsuelo y su función casi en su totalidad.		

Continúa siguiente página.

Continuación:

COMPONENTE	SOCIAL			
IMPACTO	ACTIVIDADES INVOLUCRADAS	CLASE	CALIFICACIÓN	IMPACTO AMBIENTAL
Deterioro de la salud humana	Amalgamación	Negativo	7,83	Grave
	Cianuración			
	Calcinación y tostación			
Descripción general del impacto				
Cambios en la condición de salud de la población producto de la contaminación del entorno por vapores de mercurio. Características: Incremento de enfermedades producto de la exposición a vapores de mercurio.				
Presencia	1,0	Se considera la presencia del impacto cierta, porque la exposición al mercurio es muy alta en el ambiente.		
Evolución	0,69	Se considera un impacto de evolución media, puesto que su velocidad de despliegue está condicionada por la vía de exposición del mercurio a la que se encuentra la población y puede tomar algunos años identificar la observación de sus efectos en la población del municipio. Este impacto también se puede considerar indirecto, al ser una consecuencia de la afectación del agua, aire, suelo, fauna y flora por la contaminación del mercurio.		
Duración	1,0	La duración del impacto puede ser superior a 10 años, teniendo en cuenta que los efectos del mercurio toman años en manifestarse.		
Magnitud	1,0	La magnitud del impacto se considera muy alta, debido a que la actividad minera se presenta en todo el municipio, y la exposición al mercurio no solo se encuentra en las minas sino también en las cabeceras municipales.		

Continúa siguiente página.

Continuación:

COMPONENTE	PAISAJE			
IMPACTO	ACTIVIDADES INVOLUCRADAS	CLASE	CALIFICACIÓN	IMPACTO AMBIENTAL
Alteración del paisaje natural	Descapote	Negativo		
	Extracción por excavadora			
	Extracción por voladura			
	Disposición de estériles			
Descripción general del impacto				
Este impacto de genera a partir de las perturbaciones en los espacios naturales que conforman el paisaje. Características: Alteración a las condiciones escénicas del paisaje, contaminación visual (elementos ajenos o extraños al carácter del lugar).				
Presencia	1,0	Es un impacto de presencia cierta, ya que la incorporación de maquinaria y equipos para la extracción de oro es atípica a la zona.		
Evolución	1,0	De evolución rápida porque se da desde las primeras etapas de la explotación.		
Duración	1,0	De duración muy larga, debido a que no existen planes que aseguren un cierre y/o restauración adecuada de la zona.		
Magnitud	1,0	La magnitud del impacto es muy alta, al presentarse una modificación del paisaje debido a la puesta en marcha de las actividades y los pasivos ambientales que deja la minería.		

Fuente: Grupo de trabajo.

Análisis de los resultados obtenidos

Componente fauna y flora

Se observó que, dentro del área de influencia directa, la cobertura vegetal, está representada especialmente por vegetación secundaria altamente intervenida, zonas agrícolas y ganadería.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación ambiental de los componentes fauna y flora, el impacto más significativo resulta ser la contaminación de ecosistemas

con valoración relevante, principalmente por los vertimientos contaminados con mercurio, vertimiento de aguas y lodos cianurados y por la emisión de vapores de mercurio.

La cobertura vegetal se puede afectar por diversas maneras durante las actividades de construcción, montaje y adecuación de áreas para la explotación. Con la pérdida de especies vegetales se disminuye la biomasa vegetal, se altera el paisaje, se modifica el hábitat para la fauna, se aceleran o se inducen procesos erosivos, y se puede alterar la calidad y cantidad de aguas (Huertas H 2006).

El mayor efecto negativo de la contaminación ambiental por mercurio se produce a nivel acuático principalmente por la deposición de altas cargas de sedimento y por el vertimiento de mercurio. El mercurio que ha alcanzado las aguas superficiales, los microorganismos pueden convertirlo en metil-mercurio, una sustancia que es absorbida rápidamente por la mayoría de los organismos y es conocido por dañar al sistema nervioso. Los peces son organismos que absorben gran cantidad de metil-mercurio del agua, como consecuencia, el metil-mercurio con el tiempo se acumula en la vida acuática en concentraciones y niveles más elevados.

Las aves y los mamíferos que se alimentan de peces están por lo general más expuestos al metil-mercurio que otros animales de los ecosistemas acuáticos. En forma similar, los depredadores que comen animales que se alimentan de peces también están en riesgo (IPEN 2010).

En altos niveles de exposición (EPA 2016), los efectos perjudiciales del metil-mercurio en los animales incluyen: la muerte, reproducción reducida, crecimiento y desarrollo más lento, y comportamiento anormal.

Componente suelo

La alteración de la calidad del suelo y subsuelo, como sus características se pueden impactar de forma grave, puesto que la única manera de acceder al mineral, es mediante la remoción de estos componentes, desaparece los horizontes del suelo que permiten el sostenimiento de la flora y la fauna edáfica, además las propiedades fisicoquímicas se pierden por completo y estas son necesarias para los procesos hídricos (Arango Andrés 2014). Todos estos procesos pueden desencadenar remoción en masa de las zonas.

A lo anterior se suma la contaminación por agentes químicos generados por los derrames de combustibles, lubricantes, el drenaje ácido que se produce del apilamiento de estériles y escombros y en especial el vertimiento de agua y lodos contaminados con mercurio y que puede presentarse una movilización hacia los suelos cercanos a la zona de explotación y que son utilizados en agricultura, lo que puede aumentar la biodisponibilidad del mercurio en los cultivos, la bioacumulación y por consiguiente la biomagnificación en la cadena alimenticia de la población.

Componente agua

La evaluación ambiental indicó que la contaminación del agua es un impacto muy grave, al ser los cuerpos de agua los principales receptores de los vertimientos contaminados con mercurio, y en menor medida por derrames de aceites, grasas, lubricantes y/o combustibles.

La explotación del lecho aluvial puede ocasionar alteraciones en la dinámica fluvial, asociada a los procesos de erosión generados por procesos de sedimentación producidos por el aporte de material a los cuerpos de agua incidiendo en la disminución de la capacidad del transporte y en el aumento de arrastre de material en carga.

Además, se presenta un alto consumo de agua incrementando las cantidades de agua contaminada que retornan al cuerpo de agua de donde se capta. Este impacto puede llegar a tener dimensiones inconmensurables al comprometer el sistema biótico y los medios de subsistencia de las poblaciones que se benefician de este recurso, aguas abajo de la zona de explotación.

Componente aire

La evaluación indicó que en materia de calidad del aire el impacto es muy grave. En primer lugar, debido a la quema de la amalgama que al liberar vapores de mercurio incrementa significativamente las concentraciones de mercurio en el aire hasta niveles muy por encima de los permisibles a nacional e internacional.

Además, la explotación por excavación (minería aluvial) y por voladuras (minería de filón) genera material particulado, ruidos y vibraciones, al ser actividades que se presentan constantemente durante el desarrollo de explotación y beneficio del oro.

Componente Social

La afectación en la salud humana está precedida por la contaminación de las aguas y del aire en el municipio, producto de las actividades extractivas y de beneficio. La evaluación indicó que el impacto sobre la salud humana es muy grave, y se debe principalmente por la exposición de contaminantes como el mercurio y el cianuro, a la cual se encuentran expuestos tanto los obreros de las minas como los habitantes de la zona municipal.

Los corregimientos de El Bagre y El Real son zonas urbanizadas que están siendo afectadas por las emisiones de mercurio que se presentan en las minas y en las compra - ventas. Los problemas de salud, producto de la exposición, afectan al sistema nervioso, el cual es muy sensible a todas las formas de mercurio. El metil-mercurio y los vapores del mercurio metálico son especialmente nocivos, porque el mercurio en estas formas llega rápidamente al cerebro y dañar los riñones en forma permanente, y se ha observado que afecta el desarrollo del feto, incluso meses después de la exposición de la madre (IPEN 2010).

Componente paisaje

El cambio del paisaje y el cambio en el relieve son impactos negativos muy graves que generan principalmente por el ingreso de objetos ajenos al mismo y por la eliminación de coberturas vegetales, estructuras naturales y sistemas productivos que se encuentran en la zona.

El grado de afectación y recuperación de este componente, está ligado con la transformación geofísica de la zona. Sin duda, es un impacto muy significativo e irrecuperable puesto que la vegetación y la conformación estructural, nunca volverá a ser igual.

3.6 ESTRATEGIAS DE PRODUCCIÓN LIMPIA

La Producción Limpia se fundamenta en la solución de problemas ambientales a través de estrategias preventivas, que, al implementarse en el proceso, permite obtener mayor eficiencia de los recursos, incremento de la productividad y competitividad de la organización; al mismo tiempo que se minimiza las emisiones o descargas al medio, reduciendo su impacto negativo sobre el mismo.

3.6.1 Tecnologías de Producción Más Limpia para el proceso de beneficio

A partir de la evaluación ambiental desarrollada en las cinco (5) minas de estudio, se proponen estrategias de producción limpia para las operaciones unitarias realizadas en el proceso de beneficio, teniendo en cuenta la Ley 1658 de 2013 “Por medio de la cual se establecen disposiciones para la comercialización y el uso de mercurio en las diferentes actividades industriales del país, se fijan requisitos e incentivos para su reducción y eliminación y se dictan otras disposiciones” teniendo en cuenta que la actividad minera, genera impactos ambientales en el aire, el agua y el suelo que ponen en riesgo los servicios ecosistémicos y la salud de las personas expuestas a la sustancia, tanto de manera directa como indirecta, y la Resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en particular el Artículo 10 que trata sobre los “parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles, en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domesticas – ARnD a cuerpos de agua superficiales de actividades mineras”.

Además, se consideraron las últimas innovaciones nacionales e internacionales en materia, desde un enfoque que permita el mejoramiento de las operaciones unitarias existentes, promueva la inversión tecnológica, que sean ambientalmente sostenibles y económicamente viables, como las que se describen a continuación:

Trituradora de Quijadas: Utilizada en trituración primaria y secundaria, esta es gruesa y media. Recibe su nombre por el movimiento que realiza su placa de trituradora con respecto a su placa fija, similar a una mandíbula al masticar (Ver **Figura 4**). El motor de la máquina produce un movimiento oscilatorio en una de las placas, misma que está colocada de manera diagonal. El mineral es introducido por la parte superior de la

trituradora, que tiene una cavidad amplia que se reduce. El movimiento oscilatorio y la presión que la placa ejerce sobre los minerales al hacerlos chocar con la placa fija provocan que las rocas se fragmenten (Martínez, 2012).



Figura 2. Trituradora de Quijadas

Fuente: MinAmbiente, Sinopsis Nacional de la Minería Aurífera Artesanal y de Pequeña Escala 2012.

Molino de Bolas: Este equipo de molienda continua es un tambor cilíndrico, forrado interiormente con camisas o placas de acero endurecidas, en su interior una parte del volumen está cargado con bolas de acero al manganeso las cuales sirven de cuerpos moledores, y otra parte se destina para el mineral y para el agua (Ver **Figura 5**); la carga del mineral a procesar se realiza a través de una tolva de finos; durante el proceso de molienda es necesario agregar continuamente agua para que se mantenga una relación de pulpas de 1:4 hasta 1:7. Al girar el molino se producen esfuerzos de desgaste y de impacto sobre el mineral procesado reduciendo el tamaño de las partículas. La molienda con molinos de bolas permite trabajar de una manera continua, controlar los parámetros de molienda y disminuir los costos por tonelada molida; los molinos de bolas no se encuentran en todas las plantas de beneficio (MinAmbiente, 2012).



Figura 3. Molino de Bolas

Fuente: Universidad de Buenos Aires, Argentina. Material de estudio Industrias I, 2015.

Trommel: Es un cilindro de malla utilizada para separar los materiales por tamaño. También usado para la limpieza del material (Ver **Figura 2**). La intensidad de lavado está ligada al tiempo de permanencia del material y varía con el diseño de las bocas, longitud del cilindro, largueros de elevación, paletas de retención o avance. Suele tener un consumo de agua en m³/h, de 1 a 2 veces el caudal de alimentación en T/h. (ARITEMA, 2014)



Figura 4. Trommel

Fuente: Página oficial VYMSA INGENIEROS S.A. (s.f.)

Jig: Es un equipo de concentración gravimétrica muy utilizado en la minería de minerales pesados y también en la minería aurífera (Ver **Figura 3**). El jig permite separar los componentes de un mineral de acuerdo a su peso específico, en un medio acuoso que alterna la sedimentación libre y la sedimentación obstaculizada, gracias a la pulsación del líquido producida por diferentes medios. En la minería aurífera los componentes pesados están constituidos por el oro y diferentes sulfuros (o por arenas negras en la minería aluvial), en tanto que los livianos son cuarzo y diferentes tipos de roca (Pavez, 2004). En cuanto al uso de agua los rangos óptimos de trabajo de la densidad de pulpa de

alimentación suelen estar entre 35% - 40% sólidos. Así mismo, para una alimentación de referencia de unas 25 ton/h de sólidos el caudal de agua de elutriación suele estar entre el rango de 300-600 L/min (Álvarez, 2006).



Figura 5. Jig

Fuente: MinAmbiente, Sinopsis Nacional de la Minería Aurífera Artesanal y de Pequeña Escala 2012.

Mesa Vibratoria: Son equipos de concentración que actúan a través de superficies con movimientos acelerados asimétricos, combinados muchas veces con el principio de escurrimiento laminar (Ver **Figura 6**). Este equipo dispone de un mecanismo que proporciona un movimiento de vibración lateral diferenciado en sentido transversal del flujo de la pulpa, que causa el desplazamiento de las partículas a lo largo de los rifles. El consumo de agua de estos equipos teóricamente suele estar en el rango 38 a 83 L/min (alimentación) y 11 a 45 L/min (lavado) (Pavez, 2004).



Figura 6. Mesa Vibratoria

Fuente: MinAmbiente, Sinopsis Nacional de la Minería Aurífera Artesanal y de Pequeña Escala 2012.

Knelson: El concentrador recupera partículas de oro de tamaños que van desde 1/4” hasta aproximadamente 1 micrón, este concentrador consiste de un cono perforado con anillos internos y que gira a alta velocidad (Ver **Figura 7**). La alimentación, que en general debe ser inferior a 1/4”, es introducida como pulpa (20-40% sólidos en peso) por un conducto localizado en la parte central de la base del cono. Las partículas, al alcanzar la base del cono, son impulsadas para las paredes laterales por la acción de la fuerza centrífuga generada por la rotación del cono. Se forma un lecho de volumen constante en los anillos, los cuales retienen las partículas más pesadas, mientras que, las más livianas son expulsadas del lecho y arrastradas por arriba de los anillos para el área de descarga de relaves en la parte superior del cono (Pavez, 2004).



Figura 7. Concentrador Knelson

Fuente: Pavez, 2004.

Tanques de Cianuración por Agitación: En este tipo de operación la pulpa se mantiene en movimiento con el objetivo de acelerar el proceso de disolución y exposición de las partículas metálicas a la acción del agente disolvente (Ver **Figura 8**). Suele ser proceso continuo donde carga nuevo material mientras se recoge el ya procesado. El proceso suele durar alrededor de 18 horas. Sin embargo, conforme la relación costo beneficio de cada operación este tiempo puede aumentarse. Existen básicamente dos tipos de tanques: agitadores mecánicos que utilizan impulsores metálicos para transmitir movimiento a la

pulpa y agitadores neumáticos que utilizan el bombeo de aire en la base del tanque para dar suspensión a la pulpa, este último considera un beneficio extra la cantidad de aire suministrado al proceso. En este el recurso hídrico recibe una cantidad importante de reactivos químicos, por lo que es indispensable el tratamiento de las colas producidas previo su vertimiento (Lara Monge, 2005). El consumo de agua en el proceso de cianuración depende exclusivamente de la cantidad de material que se vaya a procesar, debido a que en el proceso se maneja una relación de pulpa Líquido/Sólido de 2:1 y esta puede llegar a variar dependiendo de las condiciones químicas del mineral llegando a ser en algunas ocasiones de 5:1. Suelen manejarse densidades de pulpa en volumen entre 35%-50% de sólidos dependiendo de condiciones como peso específico, tamaño de partícula y presencia de minerales que aumenten la viscosidad de la pulpa (Romero & Flores, 2010).



Figura 8. Tanque Agitador

Fuente: UPME, Proyecto Cadena de Mercurio 2014.

Proceso de Merrill Crowe: consiste básicamente en precipitar el oro de la solución con polvo de zinc, se divide en las siguientes etapas:

1. Clarificación: En esta etapa se busca eliminar las partículas sólidas en solución por lo cual se realiza una filtración de la solución.

2. Desoxigenación: El oxígeno que fue útil en el proceso de Cianuración debe ser anulado, ya que el zinc requiere una condición reductora, por lo que se utilizan bombas de vacío para eliminar el oxígeno.
3. Precipitación de oro: La solución de cianuro-oro libre de finos, se bombea a tanques herméticamente cerrados en donde se adiciona Zinc en polvo y acetato de plomo para la precipitación y sedimentación del mineral. La descarga de las unidades Merrill Crowe entregan dos productos, un precipitado de oro con impurezas (zinc y plomo) y una solución estéril de cianuro de zinc, que se trata y se recicla al proceso. Se adiciona al proceso zinc en exceso, debido a que el OH en la solución tiende a disolverlo.
4. Filtrado: Aquí se realiza la recuperación del concentrado rico en oro y el polvo de zinc en exceso.
5. Recirculación: La solución estéril que aún contiene cianuro es recirculada al proceso y se ajusta la concentración a los niveles de entrada.

En las minas 505, El Real, La Granja y El Tejar se realiza concentración de material en un Canalón que consiste un canal fabricado en lámina y recubierto por textiles, sobre los cuales se coloca una malla expandida o rifles, que permiten realizar golpes de agua y concentrar los minerales. Este sistema opera con pendientes entre el 10% - 12% y que está regulada por la cantidad de agua que corre sobre él, su capacidad es muy variable y se adecúa fácilmente a la cantidad de mineral a beneficiar (Ver **Figura 9**). Los canalones trabajan eficientemente con pulpas en relación de 1 parte de mineral por 10 de agua (1:10) y se debe recoger continuamente el concentrado cuando se observe saturación del canal (MinAmbiente, 2012). En una operación continua la pulpa de salida puede tener porcentaje de sólidos en peso de entre 3% y 4% (León Wong, J., 1999).



Figura 9. Canalón en Z

Fuente: MinAmbiente, Sinopsis Nacional de la Minería Aurífera Artesanal y de Pequeña Escala 2012.

En el **Gráfico 2** se indica el proceso realizado en la etapa de beneficio para las minas aluviales 505, El Real, La Granja y El Tejar:

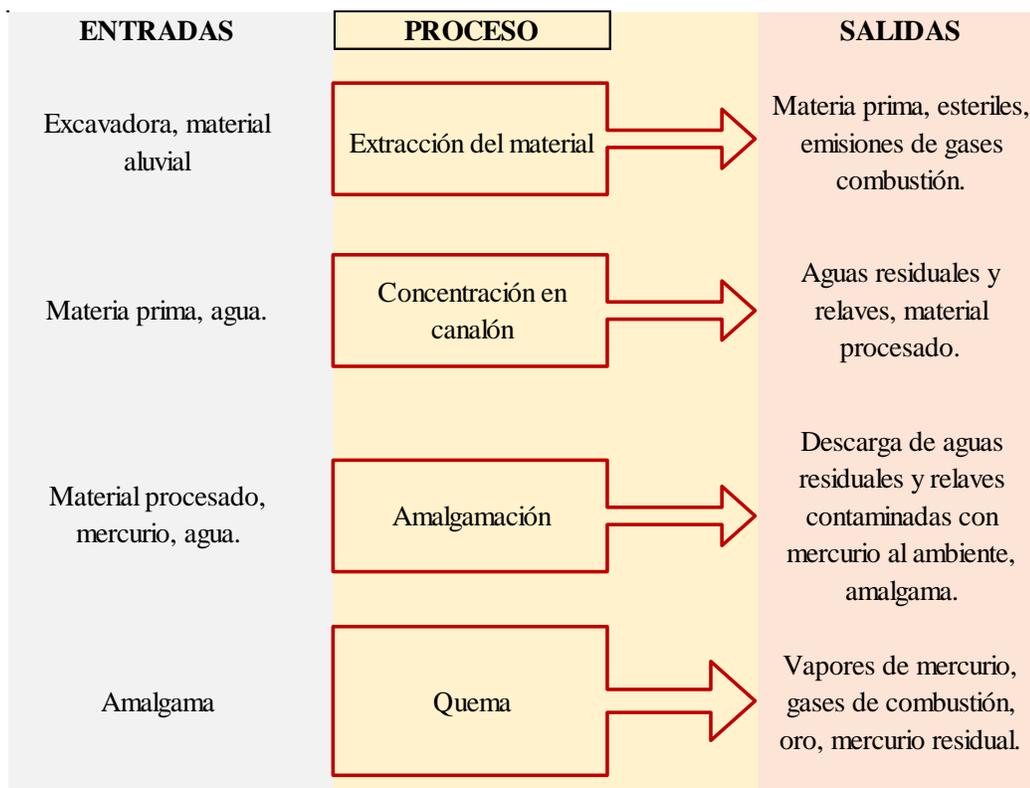


Gráfico 2. Proceso de beneficio actual en la minería aluvial

Fuente: Grupo de trabajo

Con el esquema actual de beneficio de las cuatro (4) minas de estudio (505, El Real, La Granja y El Tejar) se tienen los siguientes problemas: (i) contaminación ambiental con el uso desmedido y sin precaución del mercurio, (ii) utilización sin control de una cantidad de agua considerable en este proceso (recurso que además de desperdiciar lo contaminan con Hg) y (iii) recuperación poco efectiva de oro a través del proceso de amalgamación, se pierde aproximadamente el 50 % del oro que contiene el depósito (valor diferente para cada depósito). Considerando que el mercurio se encarga de recuperar solo el oro grueso que se encuentre en el mismo, el oro con tamaños de partículas muy pequeños no es recuperado por este método, por tanto, es importante conocer todas las características mineralógicas del depósito como tenor de alimentación, tenor del depósito, asociación mineralógica del oro, tamaño de partícula de los minerales, minerales acompañantes, entre otros; pues las alternativas tecnológicas que se propusieron tienen una limitante fundamental y es la falta de conocimiento de los depósitos minerales estudiados en cuanto a variables sin embargo, incluso conociendo estas variables también podrían arrojar resultados inesperados en cuanto al tema del porcentaje de recuperación del oro.

A partir de lo anterior, se plantea el siguiente esquema de beneficio (ver **Gráfico 3**), enfocado a que los procesos de beneficio de la minería aurífera sean sostenibles con el medio ambiente para las minas El Real, La Granja, 505 y El Tejar, y además aprovechando la condición del oro de tener una gran diferencia entre peso específico con los minerales que lo acompañan.

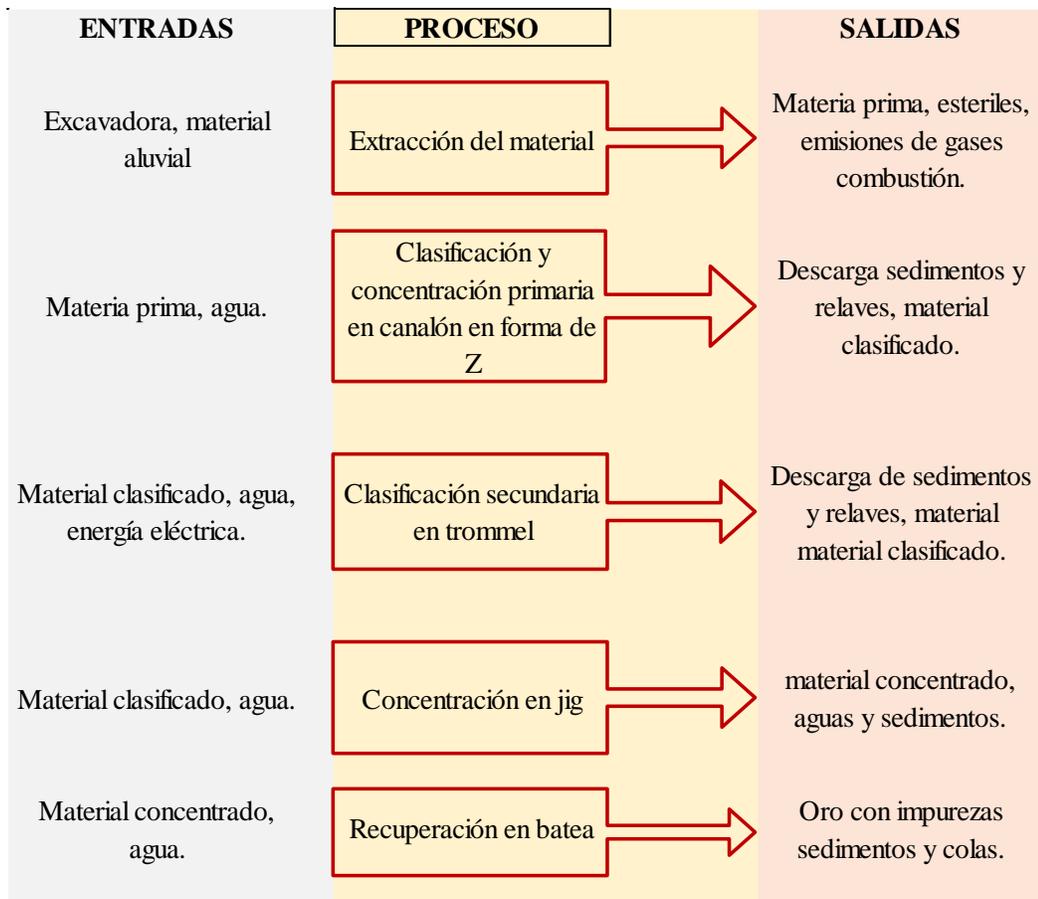


Gráfico 3. Proceso de beneficio propuesto en la minería aluvial

Fuente: Grupo de trabajo.

Comprendiendo que existe una gran diferencia en el peso específico del oro y sus minerales acompañantes, condición que permite usar la operación unitaria de concentración gravimétrica para separarlo de la ganga (minerales sin interés), se plantea entonces iniciar con la clasificación en un canalón en forma de Z para realizar la primera separación, este a su vez se ayudará de un trommel para que se realice una clasificación secundaria para ir garantizando que la ganga se va quedando por fuera del proceso. La amalgamación se reemplazará por el uso de un juego de Jigs trapezoidales primario y secundario cuya función será concentrar el metal y posteriormente este concentrado se depositará en una batea para realizar la recuperación del oro.

Mina La Florida:

En el caso de la mina la florida que aprovecha el oro de las vetas de la zona, el esquema de beneficio actual se basa en una etapa de molienda en cocos, una concentración

gravimétrica en los mismos cocos amalgamadores, cianuración por percolación y utilizan retorta para reciclar el mercurio y obtener oro (Ver **Gráfico 4**)

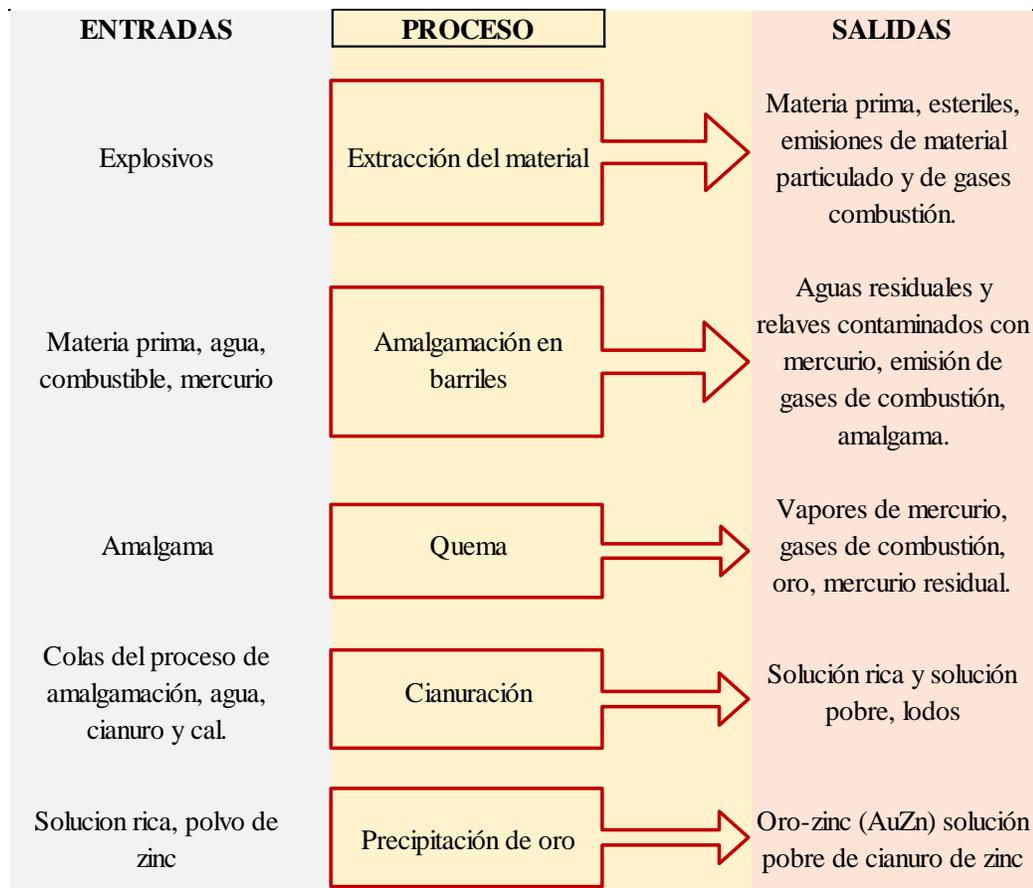


Gráfico 4. Proceso de beneficio actual en la minería de filón

Fuente: Grupo de trabajo.

Con el esquema actual de beneficio se tienen los tres (3) problemas descritos anteriormente, sumado a que el método de recuperación de oro con el proceso de amalgamación es aún menos efectivo, ya que en los depósitos filonianos existen dos tipos de oro, el libre o grueso y el oro diseminado en los sulfuros, este último no se recupera con el proceso de amalgamación y con el proceso de cianuración por percolación tampoco se alcanza a recuperar todo, por lo que se pierde un porcentaje alto de oro del que contiene el depósito (valor diferente para cada depósito), volviendo a mencionar la importancia de conocer las características mineralógicas del depósito.

En este sentido, se propone implementar operaciones unitarias que sustituyan el uso del mercurio por una concentración gravimétrica en Jig o una mesa Vibratoria (dependiendo de los resultados que arrojen los estudios metalúrgicos) y una concentración centrífuga en un Knelson o un Falcon, que permita obtener el oro libre que se recuperaba en la utilización del mercurio, garantizando el tamaño de partículas muy fino en las operaciones unitarias anteriores a la concentración, es decir antes de realizar la concentración en los equipos mencionados anteriormente, se debe garantizar un grado de liberación del mineral alto, esta se consigue realizando etapas de trituración, clasificación y moliendas eficientes. Además, se debe cambiar el proceso de recuperación del oro diseminado ya que la cianuración por percolación es mucho menos eficiente que la cianuración por agitación, por ejemplo, mientras un proceso de cianuración por percolación dura 30 días, por agitación dura 24 horas.

El proceso de beneficio planteado bajo las condiciones anteriores sería: Trituración primaria y secundaria en una trituradora de Quijadas o una trituradora de martillos; la operación unitaria de molienda (clave su eficiencia para garantizar el grado del mineral) con un molino de bolas continuo y se aprovecha la existencia de los cocos para realizar una posterior remolienda al mineral que no cumpla con el tamaño requerido para la etapa de concentración. La clasificación se realizará en un trommel que se instalará a la salida del molino de bolas, la etapa de concentración gravimétrica en una mesa y Jig si es necesario; y la concentración Centrífuga en un Knelson, las corrientes gruesas de los concentradores se deben lixiviar con cianuro, mediante un proceso de cianuración por agitación y una posterior recuperación de oro a través del método de Merrill Crowe, que permita precipitar el oro del cianuro y así poderlo llevar hasta la etapa de fundición. (Ver **Gráfico 5**)

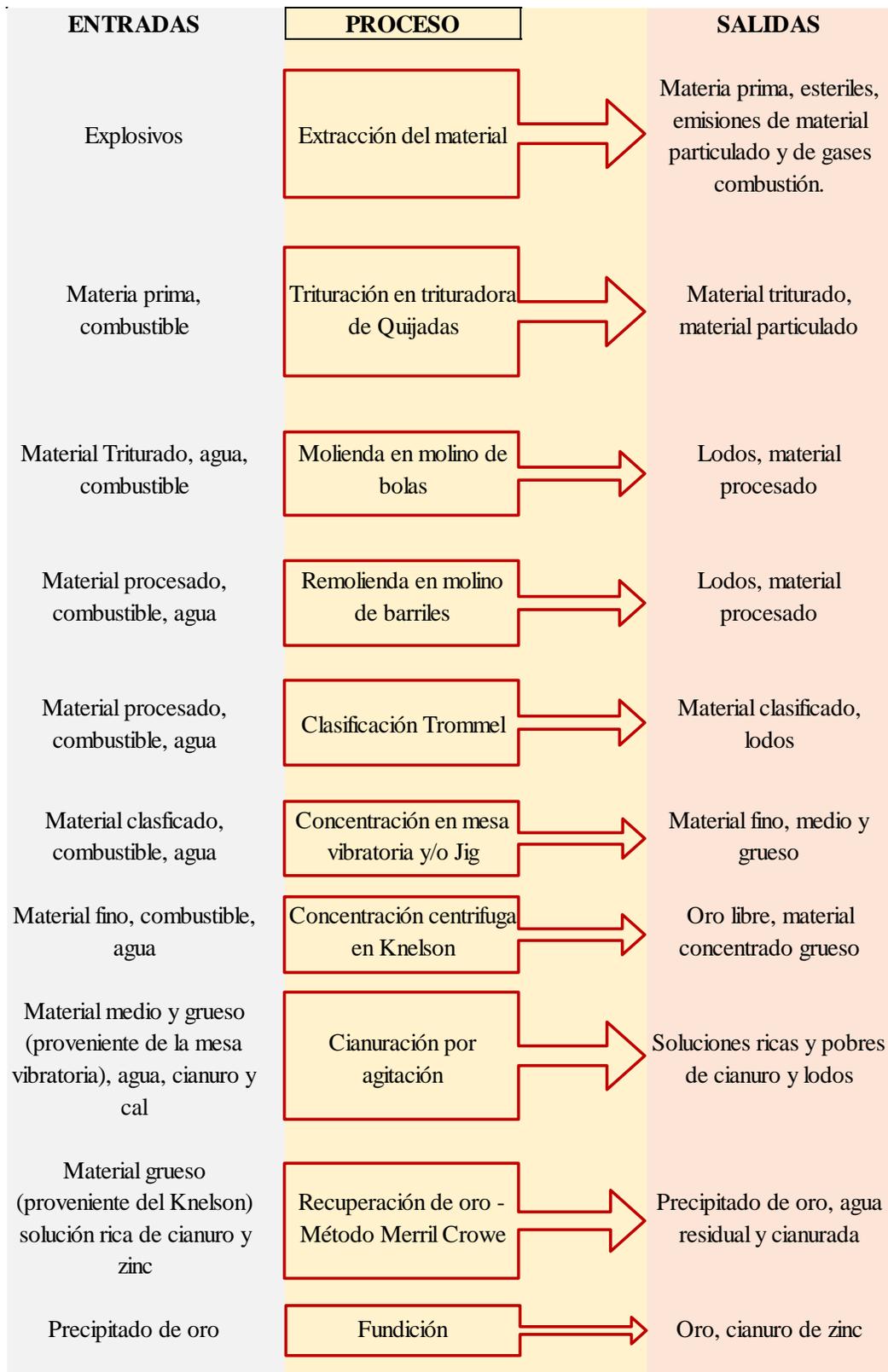


Gráfico 5. Proceso de beneficio propuesto en la minería de filón

Fuente: Grupo de trabajo

3.6.1.1 Ventajas y desventajas de las tecnologías de producción limpia

Ventajas

- Las ventajas que se obtendrán con el uso de estas tecnologías serán muchas, la principal es que el uso de estas evitan el uso del mercurio que es el principal contaminante en la minería aurífera
- La segunda ventaja que se tiene con este nuevo esquema de beneficio es que se permite tener una operación que funcione en continuo y no a baches lo que ayuda a tener un control de la cantidad de agua que se suministra al proceso y la cantidad que sale del mismo, teniendo la oportunidad de tratar estas últimas para así poder controlar las características fisicoquímicas de los vertimientos generados durante el proceso, con todo esto se reduce en gran manera los impactos ambientales.
- Otra ventaja que se obtiene es el aumento considerable del porcentaje de recuperación de oro (diferente para cada depósito), este se traduce en un aumento de ingresos al proyecto minero, lo que a largo plazo cubriría el gasto inicial de la compra de los equipos, por ejemplo para el caso de la mina la florida, la implementación de estas tecnologías permite la posibilidad de recuperar el oro diseminado en los sulfuros, que en este tipo de depósitos auríferos es mucho mayor que el oro libre que se encuentra en estas estructuras geológicas, para muchos casos resulta siendo más del 50%.

Con todo, se puede concluir que la utilización de tecnologías que apunten a la producción limpia es viable económica y ambientalmente.

Desventajas

- Como estrategias de producción limpia se proponen nuevos esquemas de beneficio para el mineral aurífero, dichos esquemas son mucho más costosos que los que vienen implementado en las minas actualmente, ya que para el caso de las minas aluviales se requiere de la compra de 3 equipos que permitan aumentar el porcentaje de recuperación del oro y para el caso de la mina de veta se necesita

realizar la compra de 6 equipos para las operaciones unitarias propuestas dentro del nuevo sistema de beneficio.

En cuanto a este tema de la adquisición de equipos para las mejoras en los procesos lo ideal sería realizar una relación costo beneficio para así determinar qué tan efectivo resulta el cambio de tecnologías en las operaciones unitarias desde el punto de vista económico, pero debido a muchos factores que se han mencionado con anterioridad esto resulta difícil ya que se necesitaría tener un estudio minero-metalúrgico del depósito mineral de cada mina, conocer variables como el tenor del depósito, tenor de corte del proyecto minero, minerales asociados, entre otros; para así poder realizar este estudio, además de como aseguran muchos expertos que han venido trabajando en el tema de la producción limpia desde el 2010, “Tener equipos e instalar unas plantas podrían ir desde los 50 a los 1.000 millones de pesos dependiendo la capacidad y el tamaño. No hay una receta” (Restrepo, OJ 2016)

- Otra desventaja que se contrae con la implementación de nuevas tecnologías limpias es que los mineros necesitarían de capacitaciones sobre el uso y manejo de las mismas, además del fuerte choque que este trae consigo en la mentalidad de los mismos, ya que es difícil enseñarle a una persona hacer las cosas de una manera diferente a como la viene haciendo desde hace 10 o 20 años atrás.

3.6.2 Alternativas para el aprovechamiento y uso eficiente del agua

La minería aurífera a nivel de pequeña escala es la actividad extractiva que mayores impactos ocasiona al medio, entre ellos el uso desmedido del agua como consecuencia de la puesta en marcha de cada uno de sus procesos, y en particular, la etapa de extracción del oro del material (aluvial o filoniano) que es realizada mediante el lavado y adición de mercurio, el cual atrapa el oro que queda suelto luego del lavado.

Considerando que las tecnologías planteadas anteriormente buscan eliminar el uso del mercurio por su potencial efecto contaminante al ambiente, éstas siguen manteniendo o aumentando el consumo de agua en sus procesos, al emplear el lavado del material como principal operación para extraer el oro, por ello, es necesario buscar alternativas eficientes

que permitan disminuir el consumo de agua. Se plantean las siguientes estrategias con el fin de disminuir la presión sobre el recurso y aprovecharlo de una manera más eficiente:

Aprovechamiento del agua lluvia: Teniendo en cuenta que el área de estudio se encuentra en una zona de altas precipitaciones que van desde los 3001 a los 7000 mm/año (PBOT 2009), se propone la instalación de un sistema de captación de agua lluvia sencillo que cuente con canaletas que conduzcan el agua hacia un tanque de almacenamiento impermeable y correctamente tapado, como alternativa que sustituya parte del agua que actualmente se satisface mediante la captación en cuerpos de agua (superficiales y subterráneos). Es importante resaltar que el volumen de agua a recolectar no sería suficiente para cubrir la demanda que supone la minería aurífera, pero se plantea con el objetivo de disminuir en lo posible el consumo de agua de los cuerpos de agua y de generar conciencia en los mineros sobre el uso y aprovechamiento eficiente del agua.

Recirculación del agua: Esta estrategia busca aprovechar el agua utilizada previamente en el proceso de beneficio (agua de minas, agua de relaves, aguas de piscinas de sedimentación) para lo cual se propone diseñar celdas con un sistema sencillo similar al que tienen los sedimentadores utilizados en el tratamiento de agua, y que cumplirán dos funciones principales: (i) liberar el agua de las altas cargas de sedimentos que transporta cuando sale del proceso de beneficio, permitiendo que el agua pueda ser reutilizada nuevamente en el proceso, y (ii) actuar como celdas de sedimentación, que como su nombre lo indica, serán sumideros de los sedimentos, evitando que sean vertidos en las corrientes de agua y rellenando las formaciones que deja la extracción de material del suelo. Para la construcción de las celdas de sedimentación se aprovecharán los tajos o pozas que quedan después de extraer material del suelo y el criterio de diseño se simplifica en proporcionar un área de sedimentación adecuada en relación con el caudal de tratamiento.

4 CONCLUSIONES

La minería artesanal aurífera genera de manera progresiva impactos críticos sobre el medio ambiente. De los resultados obtenidos en el presente estudio se puede concluir que los componentes ambientales que más se afectan por la utilización de mercurio como amalgamador en la extracción de oro corresponde al recurso agua y aire, y en menor proporción al suelo.

- Los muestreos realizados en el agua indicaron concentraciones de mercurio de hasta $1,76 \mu\text{g L}^{-1}$ los cuales sobrepasaban los umbrales establecidos por la normativa colombiana en relación a la calidad del agua ($1 \mu\text{g L}^{-1}$) y rebasa los límites para la protección de la vida acuática establecido por la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA por sus siglas en inglés) y por Canadá, los cuales son de $0,77 \mu\text{g L}^{-1}$ y $0.1 \mu\text{g L}^{-1}$ respectivamente. En cuanto a los vertimientos realizados en las minas halló que se encuentran dentro de los estándares que exige la normativa ambiental legal vigente ($2 \mu\text{g L}^{-1}$).
- Los muestreos realizados en los sedimentos se encontraron concentraciones elevadas como en el caso de las minas 505 ($1220,69 \mu\text{g Kg}^{-1}$) y La Florida ($10705,80 \mu\text{g Kg}^{-1}$) debido a que el mercurio al ser un metal pesado tiende a depositarse, lo que explica que se halle en mayor concentración que en otros componentes ambientales. Además, conlleva a que se presenten a futuro mayores niveles de mercurio en el agua como consecuencia de su liberación progresiva.
- En relación al componente aire se concluye que el área de estudio presenta niveles de mercurio que alcanzan hasta $3201,57 \text{ ng m}^{-3}$, sobrepasando lo establecido por la normativa colombiana para la calidad del aire (1000 ng m^{-3})

e incluso están muy por encima de los estándares permisibles de acuerdo a la EPA (300 ng m⁻³), y que se traduce en un riesgo potencial para la salud de las personas y del ambiente mismo.

- En cuanto a las concentraciones de mercurio en suelo, los muestreos realizados registraron niveles que van desde 1183,62 µg Kg⁻¹ hasta los 1949,93 µg Kg⁻¹ y que corresponden a las áreas que se encuentran cerca de los puntos de descarga de agua al final del proceso de beneficio del oro en cada una de las minas. Por otra parte, aunque es difícil determinar el grado de afectación del suelo al no registrarse una normativa que regule las concentraciones de mercurio para este medio; al compararlo con el valor crítico de mercurio para suelos agrícolas en Europa (1000 µg Kg⁻¹) se evidencia que superan este valor y que probablemente incidan sobre actividades agrícolas y ganaderas circundantes.

A través del balance másico se determinó que la relación mercurio – oro para el área de estudio se asemeja al valor consignado en la Sinopsis Nacional de la Minería Artesanal y a Pequeña Escala (2012). También, se comprobó que la producción de oro legal ha disminuido significativamente pasando de un 86,97% a un 45,11% en el periodo comprendido entre 2011 y 2014, en consecuencia, la producción de oro ilegal ha aumentado y con ello el uso indiscriminado del mercurio para su obtención, ocasionando una liberación promedio de 6553,39 Kg de mercurio al ambiente en este mismo periodo.

Mediante la evaluación ambiental elaborada a través del método EPM, el grado de manifestación cualitativo se refleja como la importancia del impacto en una cifra concreta. Por lo tanto, al analizarse de forma integral los impactos causados por la actividad minera, se destaca en concordancia con los resultados químicos de los componentes ambientales, que los afectados directamente son el aire y el agua.

Generando una gran preocupación por el recurso agua, en especial los cuerpos de agua superficiales involucrados en las operaciones de las minas, como lo son: río Tigüi, quebrada La Ocho, La Matanza, Calichal y Porras, por los vertimientos de aguas residuales industriales y depósito de colas en los procesos de amalgamación. Estas actividades están aportando unas concentraciones de mercurio a los sedimentos, que progresivamente serán liberadas al agua, entrando a la cuenca hidrológica del río Nechí

que desemboca en el río Cauca, la segunda arteria fluvial de Colombia y termina en el río Magdalena, el más importante del país con una carga de sedimentos y desechos proveniente en su mayoría de la minería legal e ilegal ejercida en la ribera.

A conocerse la problemática generada en el país por las propiedades físico - químicas del mercurio y su incontrolable comportamiento al entrar a los ecosistemas, se ha generado una preocupación nacional por su control, reducción y eliminación de todos los sectores donde está involucrado, en especial de la minería de subsistencia, realizada de forma artesanal, gracias al inadecuada manipulación de este metal y la necesidad de preservar los recursos naturales renovables y el ambiente.

De acuerdo a la Ley 1658 del 15 de julio de 2013, en su Artículo 3° el plazo estipulado para la erradicación del uso del mercurio en la minería es de cinco (5) años, por consiguiente, se debe promover el desarrollo de programas y proyectos, que planteen estrategias de producción más limpia e incentiven la investigación, con el fin de alcanzar las metas propuestas. En relación a lo anterior, este trabajo de investigación adelanto una recopilación de posibles tecnologías limpias en los procesos de beneficio de oro, para tener un punto de partida a nivel piloto, que requieren una etapa de prueba a mayor escala y así garantizar la eficiencia de los procesos propuestos.

5 RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente informe se realizan las siguientes recomendaciones:

- Realizar un estudio de la movilidad del mercurio en el suelo y en las corrientes de agua, con el fin de conocer su alcance contaminante y su disponibilidad.
- Elaborar un estudio de la biodisponibilidad del mercurio en el medio ictiológico y en cultivos cercanos a las minas.
- Realizar un estudio epidemiológico de toxicidad del mercurio en los trabajadores de las minas y en la población local.
- Capacitar a los trabajadores sobre los posibles riesgos a nivel ambiental y de salud por el uso inadecuado del mercurio en el proceso de beneficio del oro.

6 BIBLIOGRAFÍA

Alvarez Q., A. (2006). Tecnología de la concentración centrífuga - Notas de Curso. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. Recuperado el 3 de diciembre de 2015, de: <http://iimetmat.umsa.edu.bo/archivos/libros/CURSO%20TECNOLOGIA%20CENTRIFUGA.pdf>.

American Public Health Association – APHA. (1992). Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater, 18 Edition. Washington, DC.

Appleton, J., Williams, T., Orbea, H., & Carrasco, M. (2001). Fluvial Contamination Associated with Artisanal Gold Mining in Tte Ponce Enríquez, Portovelo-Zaruma and Nambija Areas, Ecuador. *Water, Air, and Soil Pollution*, no. 131, pp. 19–39.

Arango Julián Andrés (2014). PROYECTO DE MINERÍA DE ORO LA COLOSA, Identificación ambiental de la zona de explotación y sus Impactos. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. Recuperado el 30 de junio de 2016, de: <https://repository.javeriana.edu.co:8443/bitstream/handle/10554/13504/ArangoMendozaJulianAndres2014.pdf;jsessionid=EEFABC8E10AD07BF6B29E9803467FECC;jsessionid=EEFABC8E10AD07BF6B29E9803467FECC?sequence=1>

Arboleda G, Jorge A. (2008). Manual para la evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades. Recuperado el 15 de mayo de 2016, en: <https://drive.google.com/file/d/0B6UC12SwptvPMGE1OWZmNzgtZjVmMC00ZDU1LTlhMmUtNDU0MmFmODdkNDRI/view?pref=2&pli=1>

Aristizabal, J. (2013). *Estudio de Impacto Ambiental para la Explotación Minera Informal de Oro de Aluvión a Pequeña Escala sobre el rio Saldaña, Departamento del Tolima, Colombia*. Tesis de Especialización en Gestión Ambiental y Evaluación de Impacto Ambiental. Universidad de Tolima. Ibagué, Tolima.

ARITEMA. (2014). Tromel de lavado. Aplicaciones y descripción. Recuperado el 3 de octubre de 2015, de http://www.aritema.es/pdf/Catalogo_TROMEL_LAVADOR.pdf

Arrázola A. (2011). *Determinación de los Niveles de Mercurio en el Aire de Consultorios y Clínicas Odontológicas en Cartagena, Colombia*. Tesis de Maestría en Toxicología. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

Berzas Nevado, J.J., Rodríguez Martín-Doimeadios, R.C., Guzmán Bernardo, F.J., Jiménez Moreno, M., Herculano, A.M., do Nascimento, J.L.M., Crespo-López, M.E., (2010). Mercury in the Tapajós River basin, Brazilian Amazon: a review. *Environment International*. 36 (6), 593–608.

British Columbia (2001). Ambient Water Quality Guidelines for Mercury. Rescatado el 05 de febrero de 2016 en:

<http://www.env.gov.bc.ca/wat/wq/BCguidelines/mercury/mercury.html#tab1>

Camargo, J., Arias, J. & Muñoz, D. (2014). Evaluación del contenido de mercurio en suelos y lechos de quebradas en la zona minera de Miraflores, Quinchía, Colombia. *Revista Unal*. 64 (2), p 165-177.

Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles – CPTS (2005). Guía Técnica General de Producción Más Limpia. Recuperado el 20 de diciembre de 2015 en: <http://www.recpNet.org/documents/kms/4b752b07eb3d0652f72e024d1ee55b38.pdf>

Cordy, P., Veiga, Marcello M., Salih, I., Al-Saadi, S., Console, S., Garcia, O., et al. (2011). Mercury contamination from artisanal gold mining in Antioquia, Colombia: The world's highest per capita mercury pollution. *Science of the Total Environment* 410-411:154–160

Environmental Protection Agency - EPA. (1995). Water Quality Standards Handbook. 2da Edición. Recuperado el 20 de diciembre de 2014, de:

<http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockkey=60001CLZ.txt>

Environmental Protection Agency – EPA. (2016). Información básica sobre el mercurio. Visitado el 30 de junio de 2016, de: <https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-el-mercurio#ecological>

Español, C. (2012). Editorial: Contaminación con mercurio por la actividad minera. Instituto Nacional de Salud, *Biomédica* vol. 32(3). Recuperado el 14 de mayo de 2016, de: <http://www.revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/1437>

Espinoza, G. (2002). *Fundamentos de evaluación de impacto ambiental*. Banco Interamericano de Desarrollo, BID y Centro de Estudios para el Desarrollo, CED,

Santiago, Chile. Recuperado el 15 de mayo de 2016, de: www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd51/fundamentos.pdf

Fitzgerald, W., & Clarkson, T. (1991). Mercury and monomethylmercury: present and future concerns. *Environmental Health Perspectives*. 96:159-166. Recuperado el 22 de febrero de 2015, de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1568233/pdf/envhper00416-0152.pdf>

García, Ángela. (2013). Evaluación de la contaminación por vertimiento de mercurio en la zona minera, Pacarní - San Luis departamento Del Huila. *Revista de Tecnología*, 21 (1) pp 91-98. Recuperado el 21 de agosto de 2015, de: <http://revistas.unbosque.edu.co/index.php/RevTec/article/view/653>

Gaudet C, Lingard S, Cureton P, Keenleyside K, Smith S y G. Raju. (2005). Canadian Environmental Quality Guidelines for mercury. *Water Air Soil Pollut.* 80: 1149-1159. Recuperado el 30 de noviembre de 2015, de: <http://link.springer.com/article/10.1007%2F978-1-4020-1189-7>

Guala, S.; Vega, A.; & Covedo, E. (2010). The dynamic of heavy metals in plant – soil interactions. *Ecol. Modelling* 221:1148 - 1152. Recuperado el 24 de abril de 2015, de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380010000244>

Guangle Qiu, Xinbin Feng, Bo Meng, Chao Zhang, Chunhao Gu, Buyun Du, & Yan Lin. (2013). Environmental geochemistry of an abandoned mercury mine in Yanwuping, Guizhou Province, China. *Environmental Research* 125:124-130. Recuperado el 17 de abril de 2015, de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935113000145>

Güiza, L., Aristizábal, J.D. (2013). Mercury and gold mining in Colombia: a failed state. *Univ. Sci.* 18 (1), 33–49. Recuperado el 28 de marzo de 2015, de: <http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/scientarium/article/view/4032>

Huertas Oscar (2006). Estudio de Impacto Ambiental para la Extracción y Beneficio de Material de Arrastre, Villanueva-Casanare. Corporinoquia. Recuperado el 30 de junio de 2016, de: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358023/EIA_Agua.pdf

International POPs Elimination Network - IPEN (2010). Introducción a la Contaminación por Mercurio para las ONGs. Recuperado el 30 de junio de 2016, de: http://ipen.org/sites/default/files/documents/ipen_mercury_booklet-es.pdf

Krabbenhoft. D., Engstrom. D., Gilmour. C., Harris. D., Hurley. J. & R. Mason. (2006). Monitoring and evaluating trends in sediment and water indicators. Ecosystem Responses to Mercury Contamination. Indicators of Change. *CRC Press. Boca Raton*, pp 47-86.

Koyomi Nakazawa, Osamu Nagafuchi, Tomonori Kawakami, Takanobu Inoue, Kuriko Yokota, Yuka Serikawa, Basir Cyio & Rosana Elvince (2016). Human health risk assessment of mercury vapor around artisanal small-scale gold mining area, Palu city, Central Sulawesi, Indonesia. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 126: 155-162. Recuperado el 28 de marzo de 2015, de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651315301172>

Lacerda. Luiz Drude de & Malm., Olaf. (2008). Contaminação por mercúrio em ecossistemas aquáticos: uma análise das áreas críticas. *Estud. av.* vol.22:63 pp. 173-190. Recuperado el 27 de marzo 2015, de: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200011

Lara Monge F. (2005). Subproyecto. Asistencia técnica y capacitación para el desarrollo técnico de Amalar: Procesos de Cianuración. Ayacucho, Perú. Recuperado el 3 de diciembre de 2015 en: <http://www.bvcooperacion.pe/biblioteca/bitstream/123456789/5010/1/BVCI0004359.pdf>

León Wong, J. (1999). *Situación actual de la mediana minería en el Ecuador. Cambio de sistema de producción en la mina Bonanza*. Tesis de grado en ingeniería de minas. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador. Recuperado el 10 de diciembre de 2015 en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/3347>

Long E R, Field L J y D D Macdonald. (1998). Predicting toxicity in marine sediments with numerical sediment quality guidelines. *Environ. Toxicol. Chem.* 17: 714-727. Recuperado el 27 de marzo de 2015, de:

http://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/tmdl/docs/303d_policydocs/232.pdf

Lutz-Ehrlich H. (2005). Geomicrobiology. pp, 327-338, ISBN: 978-0-8247-4445-8. Recuperado el 27 de marzo de 2015, de: https://books.google.com.co/books?id=GerdDmwMTLkC&pg=PA265&lpg=PA265&dq=Geomicrobiology+of+Mercury&source=bl&ots=EndQ5BfHox&sig=-w_8h44e4DNYcQnAJx5-4Ie0EhQ&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjP-OOE1uLOAhUF7CYKHRCDCskQ6AEIITAA#v=onepage&q=Geomicrobiology%20of%20Mercury&f=false

Machado, L., Ospina, J., Henao, N., and Marin, F. (2010). *Problemática ambiental ocasionada por el Mercurio proveniente de la minería aurífera tradicional, en el corregimiento de Providencia, Antioquia. Tesis de Especialización en Gestión Ambiental. Medellín.* Medellín. Universidad de Antioquia. Recuperado el 27 de marzo de 2015, de: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/1301/1/Problem%c3%a1ticaAmbientalOcasionadaMercurioProvenienteMiner%c3%adaAur%c3%adferatradicionalCorregimientoProvidencia.pdf>

Marins, R., Andrade, J., Pereira, P., Paiva, E., y Paraquetti, H. (2000). Sampling techniques for the assessment of anthropogenic vapour and particulate mercury in the Brazilian Amazon Atmosphere. *J. Environ. Monit.* 2(4):325-328.

Marrugo, J., Benitez, L., Olivero, J., Lans, E., Vasquez, F. (2010). Spatial and seasonal mercury distribution in the Ayapel Marsh, Mojana región, Colombia. *Int. J. Environ. Health Res.* 20, 451–459.

Marrugo, J., Pinedo-Hernández, J., Díez, S. (2015). Geochemistry of mercury in tropical swamps impacted by gold mining. *Chemosphere* 134: 44–51.

Martínez Carillo (2012). Trituración y Molienda. Curso Procesamiento de Minerales - Maestría en Ciencia y Tecnología de la Metalurgia.

Mineros S.A. (2011). Informe Financiero. Bogotá. Recuperado el 20 de diciembre de 2015 en: <https://issuu.com/mineros/docs/informefinanciero2011?e=3204600/3387531>

Mineros S.A. (2012). Informe Financiero. Bogotá. Recuperado el 20 de diciembre de 2015 en: <https://issuu.com/mineros/docs/informefinanciero2012?e=3204600/1815880>

Mineros S.A. (2013). Informe Financiero. Bogotá. Recuperado el 20 de diciembre de 2015 en: <https://issuu.com/mineros/docs/informefinanciero-2013?e=3204600/7153063>

Mineros S.A. (2014). Informe Financiero. Bogotá. Recuperado el 20 de diciembre de 2015 en: <https://issuu.com/mineros/docs/informe-financiero-2014?e=3204600/11922793>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2012). Sinopsis Nacional de la Minería Aurífera Artesanal y de Pequeña Escala. Proyecto: Contribución a la construcción de un plan estratégico regional para la reducción del uso de mercurio en la minería aurífera artesanal y de pequeña escala. Bogotá, Colombia. Recuperado el 3 de diciembre de 2015 en:

https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/mercurio/Sinopsis_Nacional_de_la_ASGM.pdf

Ministerio de Ambiente. (2002). *Diagnóstico y Proyecciones de la Gestión Minero Ambiental para las Regiones Auríferas de Colombia*. Ministerio de Ambiente, Bogotá.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Resolución 0631 (marzo 17 de 2015). Recuperado el 05 de febrero de 2016, de:

<https://www.minambiente.gov.co/index.php/normativa/resoluciones>

Ministro de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). Resolución 2115 (junio 22 de 2007). Recuperado el 05 de febrero de 2016, de:

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=30008>

Ministro de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Resolución 0610 (marzo 24 de 2010). Recuperado el 10 de enero de 2016, de:

<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=39330>

Ministerio del Trabajo (2013). *Estudio de Perfil Productivo Rural y Urbano del Municipio de El Bagre*. Bogotá. Recuperado el 10 de enero de 2016, de: www.mintrabajo.gov.co/component/docman/doc_download/1594-perfilelbagre.html

Nriagu, J., Pfeiffer, W., Malm, O., Magalhaes de Souza, C., y Mierle, G. (1992). Mercury pollution in Brazil. *Nature*. 356(6368):389.

Olivero, J. (2002). Programa de Desarrollo Sostenible de la región de la Mojana. Informe Técnico. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado el 27 de marzo de 2015, de: <http://www.incoder.gov.co/documentos/Estrategia%20de%20Desarrollo%20Rural/Pertiles%20Territoriales/ADR%20MOJANA/Otros/Programa%20de%20Desarrollo%20Sostenible%20de%20la%20Mojana.pdf>

Oseas García, Marcello M. Veiga, Paul Cordy, Osvaldo E. Suescún, Jorge Martin Molina, Monika Roeser (2014). Artisanal gold mining in Antioquia, Colombia: a successful case of mercury reduction. *Journal of Cleaner Production* 30: 1-9. Recuperado el 27 de marzo de 2015, de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614012128>

Pavez Miqueles, O. (2004). Apuntes Concentración de Minerales II. Universidad de Atacama. Copiapó, Chile. Recuperado el 27 de marzo de 2015, de: http://www.mineriacatamarca.gob.ar/LinkEducativo/InformacionAcademica/AreaProcesamiento_Minerales/Apuntes_de_Concentracion_de_Minerales.pdf

PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL de El Bagre 2012 – 2015. Rescatado el 05 de febrero de 2016 en:

http://www.elbagre-antioquia.gov.co/Nuestros_planes.shtml?apc=gbxx-1-&x=2864787

PLAN BÁSICO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL del Municipio de El Bagre 2009. Rescatado el 05 de febrero de 2016 en:

http://www.elbagre-antioquia.gov.co/Nuestros_planes.shtml?apc=gbxx-1-&x=2867655

PNUMA “Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente”. (2008). Módulo 3: Uso del Mercurio en la Minería de Oro Artesanal y Pequeña Escala. PNUMA.

Recuperado el 1 de diciembre de 2014 en:

<http://www.unep.org/chemicalsandwaste/Mercury/MercuryPublications/ReportsPublications/AwarenessRaisingPackage/AwarenessRaisingPackageSpanishVersion/tabid/4535/language/en-US/Default.aspx>

PNUMA (2012). Sinopsis Nacional de la Minería Aurífera Artesanal y de Pequeña Escala. PNUMA, Bogotá. Recuperado el 30 de abril de 2015, de: http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/mercurio/Sinopsis_Nacional_de_la_ASGM.pdf

Romero, A., & Flores, S. (2010). La influencia de la velocidad de agitación en la lixiviación dinámica de minerales alterados. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, Vol. 12, N° 24, 133-140. Recuperado el 30 de abril de 2015, de: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v12_n24/pdf/a14v12n24.pdf

Rutowski J, Moszczyński P. 2006. Selected markers of subclinical renal damage in men occupationally exposed to mercury vapours. *P. Przegl. Lek.* 65-73.

Sholupov, S., Pogarev, S., Ryzhov, V., Mashyanov, N., y Straganov, A. (2004). Zeeman atomic absorption spectrometer RA – 915+ for direct determination of mercury in air and complex matrix samples. *Fuel Processing Technology*

SIMCO, Producción de Oro por Municipio Anual 2001 – 2015. Recuperado el 20 de diciembre de 2015 en: http://www.upme.gov.co/generadorconsultas/Consulta_Series.aspx?idModulo=4&tipoSerie=116&grupo=496&

Takashi Tomiyasu, Yuriko Kono, Hitoshi Kodamatani, Nuril Hidayati & Joeni Setijo Rahajoe 2013. The distribution of mercury around the small-scale gold mining area along the Cikaniki River, Bogor, Indonesia. *Environmental Research 125: 12-19*. Recuperado el 30 de abril de 2015, de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935113001163>

Tarras-Wahlberg, N., Flachier, A., Lane, S., y Sangfors, O. (2001). Environmental impacts and metal exposure of aquatic ecosystems in rivers contaminated by small-scale gold mining: The Puyango River basin. Southern Ecuador. *Ambio*. 29 (8):484-491. Recuperado el 30 de abril de 2015, de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969701006556>

Turizo, A., Vargas, A., Jiménez, M., Villamil, M., Restrepo, A., Gonzalez, J., Chavez, J., Rincón, C., y Cardoza, G. (1997). Plan de manejo ambiental regional para la pequeña minería de oro de aluvión y filón en el Sur del Departamento de Bolívar. Corporación Autónoma Regional del Sur de Bolívar (C.S.B.). Cartagena.

Unidad de Planeación Minero Energético - UPME & Universidad de Córdoba (2014). Estudio de la Cadena del Mercurio en Colombia con Énfasis en la Actividad Minera de Oro. Bogotá, Colombia. Recuperado el 24 de febrero de 2016 en: http://www.upme.gov.co/SeccionMineria_sp/cadena_de_mercurio/Cadena_Mercurio_Tomo_II.pdf

Unidad de Planeación Minera Energética - UPME. (2001). Estadísticas minero energéticas. Edición No. 13. Bogotá.

Unidad de Planeación Minera Energética - UPME. (2007). Producción Más Limpia en la Minería del Oro en Colombia: Mercurio, Cianuro y Otras Sustancias. Bogotá.

Universidad de Buenos Aires, Argentina, 2015. Facultad de Ingenierías. Ingeniería Industrial. Material de estudio de Industrias I. Recuperado el 25 de febrero de 2016 en: http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/06_Apunte%20Molienda.pdf

Veiga, M., Baker, R. 2004. Protocols for Environmental and Health Assessment of Mercury Released by Artisanal and Small-Scale Gold Miners. Vienna, Austria: GEF/UNDP/UNIDO, 294p.

VYMSA INGENIEROS S.A. (s.f) Catálogo de equipos y máquinas para minería. Recuperado el 25 de febrero de 2016 en: <http://www.vymosa.com/es/equipos/trommel>

WHO - World Health Organization, 2007. Exposure to Mercury: a Major Public Health Concern, p. 4. Geneva. Recuperado el 03 de junio de 2016 en: <http://www.who.int/ipcs/features/mercury.pdf>

Young, F. (2013). *La Minería y sus Efectos Ambientales en el sur Del Departamento de Bolívar (Santa Rosa del Sur, Morales, Montecristo, Rio Viejo, Hatillo de Loba, Barranco de Loba, san Martín de Loba y Arenal)*. Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales. SUE-CARIBE. Cartagena de Indias.

7 ANEXOS

Anexo 1. Lista de chequeo

MINA:

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:

DEPARTAMENTO:

MUNICIPIO:

TIPO DE MINERÍA:

MINERAL DE INTERÉS:

PRODUCCIÓN MENSUAL (g/mes):

PREGUNTA	SI	NO	OBSERVACIÓN
1. ¿Número de empleados?			
2. ¿Cuál es el horario de trabajo?			
3. ¿En qué forma se encuentra disponible el mineral en el yacimiento explotado? ¿Filón? ¿Aluvión? ¿Otro?			
4. ¿Se realiza la extracción por voladura?			
5. ¿Se realiza la extracción por métodos mecánicos?			
6. ¿Se realiza extracción con retroexcavadora?			
7. ¿Se realiza extracción por método hidráulico?			
8. ¿De dónde obtienen el agua para esta operación?			
9. ¿Se observan procesos erosivos en la mina?			
10. ¿Se utilizan maquinarias con combustibles fósiles?			
11. ¿Se usan maquinarias eléctricas?			
12. ¿Provocará la actividad ruidos y vibraciones o emisiones de calor?			
13. ¿Hay patios de acopio, disposición de escombros o material estéril?			
14. ¿Se realiza molienda en barriles o cocos?			
15. ¿Se realiza molienda con molinos chilenos?			
16. ¿Se realiza molienda con molino de bolas?			
17. ¿Se realiza el trabajo a la intemperie?			
18. ¿Se realiza concentración en batea?			
19. ¿Se realiza concentración en canalón?			
20. ¿Se realiza concentración en concentrador centrífugo?			
21. ¿Se realiza concentración con JIG?			
22. ¿Se realiza concentración en mesas vibratorias?			

23. ¿Se realiza cianuración?			
24. ¿Se producen vertimientos?			
25. ¿Se realiza tratamiento al vertimiento generado?			
26. ¿Se realiza amalgamación "in situ"?			
27. ¿Se realiza amalgamación en canalón?			
28. ¿Se realiza amalgamación en barriles o cocos?			
29. ¿Se realiza amalgamación en concentradores centrífugos?			
30. ¿Se realiza amalgamación en placas amalgamadoras?			
31. ¿Se realiza amalgamación en batea y baldes?			
32. ¿Provocará la actividad ruidos y vibraciones o emisiones de calor?			
33. ¿Se producen vertimientos? ¿Se observan pérdidas?			
34. ¿Se realiza tratamiento al vertimiento generado?			
35. ¿Se realiza calcinación y tostación?			
36. ¿Se realiza la quema en lugares abiertos?			
37. ¿Se mantiene la ropa de trabajo lejos de la ropa de casa?			
38. ¿Se usa respirador, para no inhalar los vapores del mercurio?			
BALANCE DE MASA			
39. ¿Qué cantidad de mercurio es utilizado en la operación? (kg/mes)			
40. ¿Usan retortas?			
41. Si se usan retortas, ¿Qué cantidad de mercurio es recuperado (kg/mes)? ¿Se reutiliza?			
42. ¿Cuál es la relación oro/mercurio?			
43. ¿Posee la operación los registros de la cadena de custodia en que se identifiquen todos los elementos de la cadena de proveedores (fabricante, transportista(s), instalaciones de almacenamiento intermedias) que manipulen el mercurio que se transporta a su lugar de faena correspondiente?			
44. ¿Dónde se obtiene el suministro de mercurio? ¿Cuál es el precio?			
SALUD Y SEGURIDAD OCUPACIONAL			
45. ¿Están señalizadas las diferentes áreas de la mina?			
46. ¿El ingreso es sólo para personal autorizado?			

47. ¿Se ha capacitado a los empleados en primeros auxilios?			
48. ¿Están los empleados vinculados a una ARL?			
49. ¿Trabajadores usan casco de seguridad? ¿en qué etapa del proceso?			
50. ¿Trabajadores usan calzado de seguridad (Botas, zapatos y/o protectores.)? ¿en qué etapa del proceso?			
51. ¿Trabajadores usan gafas de protección? ¿en qué etapa del proceso?			
52. ¿Trabajadores usan protección respiratoria? ¿en qué etapa del proceso?			
53. ¿Trabajadores usan guantes de protección? ¿en qué etapa del proceso?			
54. ¿Trabajadores usan protección auditiva (Tapones de diversos tipos y orejeras)? ¿en qué etapa del proceso?			
55. ¿Se usa máscara de seguridad? ¿en qué etapa del proceso?			
56. ¿Se usan lentes de seguridad, con sello facial? ¿en qué etapa del proceso?			
57. ¿Trabajadores usan los EPP de manera correcta?			
58. ¿En relación a los EPP, su uso está señalizado en los lugares de trabajo?			
59. ¿Cuentan con extintores?			
60. ¿La ventilación es apropiada?			
61. ¿Cuentan con programa de vigilancia de la salud?			
62. ¿Se realizan inspecciones de seguridad?			
63. ¿Se tiene registro de las inspecciones?			
64. ¿Se realiza periódicamente el mantenimiento de la maquinaria pesada?			
65. ¿Conllevará el proyecto el uso de sustancias o materiales tóxicos o peligrosos para la salud humana o el medio ambiente (flora, fauna, suministro de agua)? ¿Cuáles?			
66. ¿Quién es el proveedor de mercurio usado en los procesos?			
67. ¿Existe plan de cierre de la explotación y abandono de los montajes e infraestructura?			
68. ¿Qué otros minerales aprovechables se encuentran en el área de explotación?			

RESPONSABLES: _____

Anexo 2. Listas de chequeo de minas

<p>MINA: <u>El Tejar</u></p> <p>DEPARTAMENTO: <u>Antioquia</u></p> <p>TIPO DE MINERÍA: <u>Aluvial</u></p>	<p>UBICACIÓN GEOGRÁFICA: <u>07° 42' 76,1" N</u> <u>74° 44' 60,6" W</u></p> <p>MUNICIPIO: <u>El Bagre</u></p> <p>MINERAL DE INTERÉS: <u>Oro</u></p> <p>PRODUCCIÓN MENSUAL (g mes-1): 460 gr mes-1</p>
--	--

PREGUNTA	SI	NO	OBSERVACIÓN
1. ¿Número de empleados?			16 trabajadores
2. ¿Cuál es el horario de trabajo?			Diurno, 8 horas.
3. ¿En qué forma se encuentra disponible el mineral en el yacimiento explotado? ¿Filón? ¿Aluvión? ¿Otro?			Aluvión
4. ¿Se realiza la extracción por voladura?		X	
5. ¿Se realiza la extracción por métodos mecánicos?		X	
6. ¿Se realiza extracción con retroexcavadora?		X	
7. ¿Se realiza extracción por método hidráulico?	X		
8. ¿De dónde obtienen el agua para esta operación?			Quebrada La Matanza
9. ¿Se observan procesos erosivos en la mina?	X		
10. ¿Se utilizan maquinarias con combustibles fósiles?	X		
11. ¿Se usan maquinarias eléctricas?		X	
12. ¿Provocará la actividad ruidos y vibraciones o emisiones de calor?		X	
13. ¿Hay patios de acopio, disposición de escombros o material estéril?		X	
14. ¿Se realiza molienda en barriles o cocos?		X	
15. ¿Se realiza molienda con molinos chilenos?		X	
16. ¿Se realiza molienda con molino de bolas?		X	
17. ¿Se realiza el trabajo a la intemperie?	X		
18. ¿Se realiza concentración en batea?	X		Barequeros particulares
19. ¿Se realiza concentración en canalón?	X		

20. ¿Se realiza concentración en concentrador centrífugo?		X	
21. ¿Se realiza concentración con JIG?		X	
22. ¿Se realiza concentración en mesas vibratorias?		X	
23. ¿Se realiza cianuración?		X	
24. ¿Se producen vertimientos?	X		
25. ¿Se realiza tratamiento al vertimiento generado?		X	
26. ¿Se realiza amalgamación "in situ"?	X		
27. ¿Se realiza amalgamación en canalón?	X		
28. ¿Se realiza amalgamación en barriles o cocos?		X	
29. ¿Se realiza amalgamación en concentradores centrífugos?		X	
30. ¿Se realiza amalgamación en placas amalgamadoras?		X	
31. ¿Se realiza amalgamación en batea y baldes?		X	
32. ¿Provocará la actividad ruidos y vibraciones o emisiones de calor?		X	
33. ¿Se producen vertimientos? ¿Se observan pérdidas?	X		No se cuantifican las pérdidas
34. ¿Se realiza tratamiento al vertimiento generado?		X	
35. ¿Se realiza calcinación y tostación?	X		
36. ¿Se realiza la quema en lugares abiertos?	X		
37. ¿Se mantiene la ropa de trabajo lejos de la ropa de casa?		X	
38. ¿Se usa respirador, para no inhalar los vapores del mercurio?		X	
BALANCE DE MASA			
39. ¿Qué cantidad de mercurio es utilizado en la operación? (kg/mes)			0,75 Kg mes-1
40. ¿Usan retortas?		X	
41. Si se usan retortas, ¿Qué cantidad de mercurio es recuperado (kg/mes)? ¿Se reutiliza?	---	---	----
42. ¿Cuál es la relación oro/mercurio?			460 gr de oro por 750 gr de mercurio
43. ¿Posee la operación los registros de la cadena de custodia en que se identifiquen todos los elementos de la cadena de proveedores (fabricante, transportista(s), instalaciones de almacenamiento intermedias) que		X	

manipulen el mercurio que se transporta a su lugar de faena correspondiente?			
44. ¿Dónde se obtiene el suministro de mercurio? ¿Cuál es el precio?			
SALUD Y SEGURIDAD OCUPACIONAL			
45. ¿Están señalizadas las diferentes áreas de la mina?		X	
46. ¿El ingreso es sólo para personal autorizado?		X	
47. ¿Se ha capacitado a los empleados en primeros auxilios?		X	
48. ¿Están los empleados vinculados a una ARL?		X	
49. ¿Trabajadores usan casco de seguridad? ¿en qué etapa del proceso?		X	
50. ¿Trabajadores usan calzado de seguridad (Botas, zapatos y/o protectores.)? ¿en qué etapa del proceso?		X	
51. ¿Trabajadores usan gafas de protección? ¿en qué etapa del proceso?		X	
52. ¿Trabajadores usan protección respiratoria? ¿en qué etapa del proceso?		X	
53. ¿Trabajadores usan guantes de protección? ¿en qué etapa del proceso?		X	
54. ¿Trabajadores usan protección auditiva (Tapones de diversos tipos y orejeras)? ¿en qué etapa del proceso?		X	
55. ¿Se usa máscara de seguridad? ¿en qué etapa del proceso?		X	
56. ¿Se usan lentes de seguridad, con sello facial? ¿en qué etapa del proceso?		X	
57. ¿Trabajadores usan los EPP de manera correcta?		X	
58. ¿En relación a los EPP, su uso está señalizado en los lugares de trabajo?		X	
59. ¿Cuentan con extintores?		X	
60. ¿La ventilación es apropiada?		X	
61. ¿Cuentan con programa de vigilancia de la salud?		X	
62. ¿Se realizan inspecciones de seguridad?		X	
63. ¿Se tiene registro de las inspecciones?		X	

64. ¿Se realiza periódicamente el mantenimiento de la maquinaria pesada?		X	
65. ¿Conllevará el proyecto el uso de sustancias o materiales tóxicos o peligrosos para la salud humana o el medio ambiente (flora, fauna, suministro de agua)? ¿Cuáles?	X		Mercurio
66. ¿Quién es el proveedor de mercurio usado en los procesos?		X	Información no suministrada
67. ¿Existe plan de cierre de la explotación y abandono de los montajes e infraestructura?		X	
68. ¿Qué otros minerales aprovechables se encuentran en el área de explotación?	---	---	---

RESPONSABLES: Mayra Marcela Luna Arcila
Emilio José Soto Hoyos

MINA:
La Granja

DEPARTAMENTO:
Antioquia

TIPO DE MINERÍA:
Aluvial

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:
07° 34' 18,3" N
74° 48' 16,1" W

MUNICIPIO:
El Bagre

MINERAL DE INTERÉS:
Oro

PRODUCCIÓN MENSUAL (g/mes):
1378,921

PREGUNTA	SI	NO	OBSERVACIÓN
1. ¿Número de empleados?			14 trabajadores
2. ¿Cuál es el horario de trabajo?			Doble jornada de 10 horas.
3. ¿En qué forma se encuentra disponible el mineral en el yacimiento explotado? ¿Filón? ¿Aluvión? ¿Otro?			Aluvión
4. ¿Se realiza la extracción por voladura?		X	
5. ¿Se realiza la extracción por métodos mecánicos?		X	
6. ¿Se realiza extracción con retroexcavadora?	X		Y por dragado
7. ¿Se realiza extracción por método hidráulico?		X	
8. ¿De dónde obtienen el agua para esta operación?			Rio Tigüi
9. ¿Se observan procesos erosivos en la mina?	X		
10. ¿Se utilizan maquinarias con combustibles fósiles?	X		Motores de combustión y excavadora
11. ¿Se usan maquinarias eléctricas?		X	
12. ¿Provocará la actividad ruidos y vibraciones o emisiones de calor?	X		
13. ¿Hay patios de acopio, disposición de escombros o material estéril?		X	
14. ¿Se realiza molienda en barriles o cocos?		X	
15. ¿Se realiza molienda con molinos chilenos?		X	
16. ¿Se realiza molienda con molino de bolas?		X	
17. ¿Se realiza el trabajo a la intemperie?	X		
18. ¿Se realiza concentración en batea?		X	
19. ¿Se realiza concentración en canalón?	X		
20. ¿Se realiza concentración en concentrador centrífugo?		X	
21. ¿Se realiza concentración con JIG?		X	

22. ¿Se realiza concentración en mesas vibratorias?		X	
23. ¿Se realiza cianuración?		X	
24. ¿Se producen vertimientos?	X		
25. ¿Se realiza tratamiento al vertimiento generado?		X	
26. ¿Se realiza amalgamación "in situ"?	X		
27. ¿Se realiza amalgamación en canalón?	X		
28. ¿Se realiza amalgamación en barriles o cocos?		X	
29. ¿Se realiza amalgamación en concentradores centrífugos?		X	
30. ¿Se realiza amalgamación en placas amalgamadoras?		X	
31. ¿Se realiza amalgamación en batea y baldes?		X	
32. ¿Provocará la actividad ruidos y vibraciones o emisiones de calor?		X	
33. ¿Se producen vertimientos? ¿Se observan pérdidas?	X		No se cuantifican las pérdidas
34. ¿Se realiza tratamiento al vertimiento generado?		X	
35. ¿Se realiza calcinación y tostación?	X		
36. ¿Se realiza la quema en lugares abiertos?	X		
37. ¿Se mantiene la ropa de trabajo lejos de la ropa de casa?		X	
38. ¿Se usa respirador, para no inhalar los vapores del mercurio?		X	
BALANCE DE MASA			
39. ¿Qué cantidad de mercurio es utilizado en la operación? (kg/mes)			2 Kg mes-1
40. ¿Usan retortas?		X	
41. Si se usan retortas, ¿Qué cantidad de mercurio es recuperado (kg/mes)? ¿Se reutiliza?	---	---	----
42. ¿Cuál es la relación oro/mercurio?			1378,921 gr de oro por 2000 gr de mercurio
43. ¿Posee la operación los registros de la cadena de custodia en que se identifiquen todos los elementos de la cadena de proveedores (fabricante, transportista(s), instalaciones de almacenamiento intermedias) que manipulen el mercurio que se transporta a su lugar de faena correspondiente?		X	

44. ¿Dónde se obtiene el suministro de mercurio? ¿Cuál es el precio?			El bagre, precio \$ 264000 COP
SALUD Y SEGURIDAD OCUPACIONAL			
45. ¿Están señalizadas las diferentes áreas de la mina?		X	
46. ¿El ingreso es sólo para personal autorizado?		X	
47. ¿Se ha capacitado a los empleados en primeros auxilios?		X	
48. ¿Están los empleados vinculados a una ARL?		X	
49. ¿Trabajadores usan casco de seguridad? ¿en qué etapa del proceso?		X	
50. ¿Trabajadores usan calzado de seguridad (Botas, zapatos y/o protectores.)? ¿en qué etapa del proceso?		X	
51. ¿Trabajadores usan gafas de protección? ¿en qué etapa del proceso?		X	
52. ¿Trabajadores usan protección respiratoria? ¿en qué etapa del proceso?		X	
53. ¿Trabajadores usan guantes de protección? ¿en qué etapa del proceso?		X	
54. ¿Trabajadores usan protección auditiva (Tapones de diversos tipos y orejeras)? ¿en qué etapa del proceso?		X	
55. ¿Se usa máscara de seguridad? ¿en qué etapa del proceso?		X	
56. ¿Se usan lentes de seguridad, con sello facial? ¿en qué etapa del proceso?		X	
57. ¿Trabajadores usan los EPP de manera correcta?		X	
58. ¿En relación a los EPP, su uso está señalizado en los lugares de trabajo?		X	
59. ¿Cuentan con extintores?		X	
60. ¿La ventilación es apropiada?		X	
61. ¿Cuentan con programa de vigilancia de la salud?		X	
62. ¿Se realizan inspecciones de seguridad?		X	
63. ¿Se tiene registro de las inspecciones?		X	
64. ¿Se realiza periódicamente el mantenimiento de la maquinaria pesada?		X	

65. ¿Conllevará el proyecto el uso de sustancias o materiales tóxicos o peligrosos para la salud humana o el medio ambiente (flora, fauna, suministro de agua)? ¿Cuáles?	X		Mercurio
66. ¿Quién es el proveedor de mercurio usado en los procesos?		X	Información no suministrada
67. ¿Existe plan de cierre de la explotación y abandono de los montajes e infraestructura?		X	
68. ¿Qué otros minerales aprovechables se encuentran en el área de explotación?	---	---	---

RESPONSABLES: Mayra Marcela Luna Arcila
Emilio José Soto Hoyos

MINA:
505

DEPARTAMENTO:
Antioquia

TIPO DE MINERÍA:
Aluvial

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:
07° 40' 03,9" N
74° 48' 36,8" W

MUNICIPIO:
El Bagre

MINERAL DE INTERÉS:
Oro

PRODUCCIÓN MENSUAL (g/mes):
1360,78

PREGUNTA	SI	NO	OBSERVACIÓN
1. ¿Número de empleados?			10 trabajadores
2. ¿Cuál es el horario de trabajo?			Doble jornada de 10 horas.
3. ¿En qué forma se encuentra disponible el mineral en el yacimiento explotado? ¿Filón? ¿Aluvión? ¿Otro?			Aluvión
4. ¿Se realiza la extracción por voladura?		X	
5. ¿Se realiza la extracción por métodos mecánicos?		X	
6. ¿Se realiza extracción con retroexcavadora?	X		
7. ¿Se realiza extracción por método hidráulico?		X	
8. ¿De dónde obtienen el agua para esta operación?			Quebrada la Ocho
9. ¿Se observan procesos erosivos en la mina?	X		
10. ¿Se utilizan maquinarias con combustibles fósiles?	X		Motores de combustión y excavadora
11. ¿Se usan maquinarias eléctricas?	X		
12. ¿Provocará la actividad ruidos y vibraciones o emisiones de calor?	X		
13. ¿Hay patios de acopio, disposición de escombros o material estéril?		X	
14. ¿Se realiza molienda en barriles o cocos?		X	
15. ¿Se realiza molienda con molinos chilenos?		X	
16. ¿Se realiza molienda con molino de bolas?		X	
17. ¿Se realiza el trabajo a la intemperie?	X		
18. ¿Se realiza concentración en batea?		X	
19. ¿Se realiza concentración en canalón?	X		
20. ¿Se realiza concentración en concentrador centrífugo?		X	

21. ¿Se realiza concentración con JIG?		X	
22. ¿Se realiza concentración en mesas vibratorias?		X	
23. ¿Se realiza cianuración?		X	
24. ¿Se producen vertimientos?	X		
25. ¿Se realiza tratamiento al vertimiento generado?		X	
26. ¿Se realiza amalgamación "in situ"?	X		
27. ¿Se realiza amalgamación en canalón?	X		
28. ¿Se realiza amalgamación en barriles o cocos?		X	
29. ¿Se realiza amalgamación en concentradores centrífugos?		X	
30. ¿Se realiza amalgamación en placas amalgamadoras?		X	
31. ¿Se realiza amalgamación en batea y baldes?		X	
32. ¿Provocará la actividad ruidos y vibraciones o emisiones de calor?		X	
33. ¿Se producen vertimientos? ¿Se observan pérdidas?	X		No se cuantifican las pérdidas
34. ¿Se realiza tratamiento al vertimiento generado?		X	
35. ¿Se realiza calcinación y tostación?	X		
36. ¿Se realiza la quema en lugares abiertos?	X		
37. ¿Se mantiene la ropa de trabajo lejos de la ropa de casa?		X	
38. ¿Se usa respirador, para no inhalar los vapores del mercurio?		X	
BALANCE DE MASA			
39. ¿Qué cantidad de mercurio es utilizado en la operación? (kg/mes)			10,17 Kg mes-1
40. ¿Usan retortas?	X		
41. Si se usan retortas, ¿Qué cantidad de mercurio es recuperado (kg/mes)? ¿Se reutiliza?	---	---	3,8 Kg mes-1
42. ¿Cuál es la relación oro/mercurio?			1360,72 gr de oro por 6359,365 gr de mercurio
43. ¿Posee la operación los registros de la cadena de custodia en que se identifiquen todos los elementos de la cadena de proveedores (fabricante, transportista(s), instalaciones de almacenamiento intermedias) que manipulen el mercurio que se		X	

transporta a su lugar de faena correspondiente?			
44. ¿Dónde se obtiene el suministro de mercurio? ¿Cuál es el precio?			El bagre, precio \$ 264000 COP
SALUD Y SEGURIDAD OCUPACIONAL			
45. ¿Están señalizadas las diferentes áreas de la mina?		X	
46. ¿El ingreso es sólo para personal autorizado?		X	
47. ¿Se ha capacitado a los empleados en primeros auxilios?		X	
48. ¿Están los empleados vinculados a una ARL?		X	
49. ¿Trabajadores usan casco de seguridad? ¿en qué etapa del proceso?		X	
50. ¿Trabajadores usan calzado de seguridad (Botas, zapatos y/o protectores.)? ¿en qué etapa del proceso?		X	
51. ¿Trabajadores usan gafas de protección? ¿en qué etapa del proceso?		X	
52. ¿Trabajadores usan protección respiratoria? ¿en qué etapa del proceso?		X	
53. ¿Trabajadores usan guantes de protección? ¿en qué etapa del proceso?		X	
54. ¿Trabajadores usan protección auditiva (Tapones de diversos tipos y orejeras)? ¿en qué etapa del proceso?		X	
55. ¿Se usa máscara de seguridad? ¿en qué etapa del proceso?		X	
56. ¿Se usan lentes de seguridad, con sello facial? ¿en qué etapa del proceso?		X	
57. ¿Trabajadores usan los EPP de manera correcta?		X	
58. ¿En relación a los EPP, su uso está señalizado en los lugares de trabajo?		X	
59. ¿Cuentan con extintores?		X	
60. ¿La ventilación es apropiada?		X	
61. ¿Cuentan con programa de vigilancia de la salud?		X	
62. ¿Se realizan inspecciones de seguridad?		X	
63. ¿Se tiene registro de las inspecciones?		X	

64. ¿Se realiza periódicamente el mantenimiento de la maquinaria pesada?		X	
65. ¿Conllevará el proyecto el uso de sustancias o materiales tóxicos o peligrosos para la salud humana o el medio ambiente (flora, fauna, suministro de agua)? ¿Cuáles?	X		Mercurio
66. ¿Quién es el proveedor de mercurio usado en los procesos?		X	Información no suministrada
67. ¿Existe plan de cierre de la explotación y abandono de los montajes e infraestructura?		X	
68. ¿Qué otros minerales aprovechables se encuentran en el área de explotación?	---	---	---

RESPONSABLES: Mayra Marcela Luna Arcila
Emilio José Soto Hoyos

MINA:
El Real

DEPARTAMENTO:
Antioquia

TIPO DE MINERÍA:
Aluvial

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:
07° 37' 32,1" N
74° 46' 58,0" W

MUNICIPIO:
El Bagre

MINERAL DE INTERÉS:
Oro

PRODUCCIÓN MENSUAL (g/mes):
830,074

PREGUNTA	SI	NO	OBSERVACIÓN
1. ¿Número de empleados?			12 trabajadores
2. ¿Cuál es el horario de trabajo?			Diurna de 12 horas.
3. ¿En qué forma se encuentra disponible el mineral en el yacimiento explotado? ¿Filón? ¿Aluvión? ¿Otro?			Aluvión
4. ¿Se realiza la extracción por voladura?		X	
5. ¿Se realiza la extracción por métodos mecánicos?		X	
6. ¿Se realiza extracción con retroexcavadora?	X		
7. ¿Se realiza extracción por método hidráulico?		X	
8. ¿De dónde obtienen el agua para esta operación?			Quebrada Calichal
9. ¿Se observan procesos erosivos en la mina?	X		
10. ¿Se utilizan maquinarias con combustibles fósiles?	X		Motores de combustión y excavadora
11. ¿Se usan maquinarias eléctricas?		X	
12. ¿Provocará la actividad ruidos y vibraciones o emisiones de calor?	X		
13. ¿Hay patios de acopio, disposición de escombros o material estéril?		X	
14. ¿Se realiza molienda en barriles o cocos?		X	
15. ¿Se realiza molienda con molinos chilenos?		X	
16. ¿Se realiza molienda con molino de bolas?		X	
17. ¿Se realiza el trabajo a la intemperie?	X		
18. ¿Se realiza concentración en batea?		X	
19. ¿Se realiza concentración en canalón?	X		
20. ¿Se realiza concentración en concentrador centrífugo?		X	
21. ¿Se realiza concentración con JIG?		X	

22. ¿Se realiza concentración en mesas vibratorias?		X	
23. ¿Se realiza cianuración?		X	
24. ¿Se producen vertimientos?	X		
25. ¿Se realiza tratamiento al vertimiento generado?		X	
26. ¿Se realiza amalgamación "in situ"?	X		
27. ¿Se realiza amalgamación en canalón?	X		
28. ¿Se realiza amalgamación en barriles o cocos?		X	
29. ¿Se realiza amalgamación en concentradores centrífugos?		X	
30. ¿Se realiza amalgamación en placas amalgamadoras?		X	
31. ¿Se realiza amalgamación en batea y baldes?		X	
32. ¿Provocará la actividad ruidos y vibraciones o emisiones de calor?		X	
33. ¿Se producen vertimientos? ¿Se observan pérdidas?	X		No se cuantifican las pérdidas
34. ¿Se realiza tratamiento al vertimiento generado?		X	
35. ¿Se realiza calcinación y tostación?	X		
36. ¿Se realiza la quema en lugares abiertos?	X		
37. ¿Se mantiene la ropa de trabajo lejos de la ropa de casa?		X	
38. ¿Se usa respirador, para no inhalar los vapores del mercurio?		X	
BALANCE DE MASA			
39. ¿Qué cantidad de mercurio es utilizado en la operación? (kg/mes)			0,372 Kg mes-1
40. ¿Usan retortas?		X	
41. Si se usan retortas, ¿Qué cantidad de mercurio es recuperado (kg/mes)? ¿Se reutiliza?	---	---	----
42. ¿Cuál es la relación oro/mercurio?			830,074 gr de oro por 372 gr de mercurio
43. ¿Posee la operación los registros de la cadena de custodia en que se identifiquen todos los elementos de la cadena de proveedores (fabricante, transportista(s), instalaciones de almacenamiento intermedias) que manipulen el mercurio que se transporta a su lugar de faena correspondiente?		X	

44. ¿Dónde se obtiene el suministro de mercurio? ¿Cuál es el precio?			El bagre, precio \$ 220000 COP
SALUD Y SEGURIDAD OCUPACIONAL			
45. ¿Están señalizadas las diferentes áreas de la mina?		X	
46. ¿El ingreso es sólo para personal autorizado?		X	
47. ¿Se ha capacitado a los empleados en primeros auxilios?		X	
48. ¿Están los empleados vinculados a una ARL?		X	
49. ¿Trabajadores usan casco de seguridad? ¿en qué etapa del proceso?		X	
50. ¿Trabajadores usan calzado de seguridad (Botas, zapatos y/o protectores.)? ¿en qué etapa del proceso?		X	
51. ¿Trabajadores usan gafas de protección? ¿en qué etapa del proceso?		X	
52. ¿Trabajadores usan protección respiratoria? ¿en qué etapa del proceso?		X	
53. ¿Trabajadores usan guantes de protección? ¿en qué etapa del proceso?		X	
54. ¿Trabajadores usan protección auditiva (Tapones de diversos tipos y orejeras)? ¿en qué etapa del proceso?		X	
55. ¿Se usa máscara de seguridad? ¿en qué etapa del proceso?		X	
56. ¿Se usan lentes de seguridad, con sello facial? ¿en qué etapa del proceso?		X	
57. ¿Trabajadores usan los EPP de manera correcta?		X	
58. ¿En relación a los EPP, su uso está señalizado en los lugares de trabajo?		X	
59. ¿Cuentan con extintores?		X	
60. ¿La ventilación es apropiada?		X	
61. ¿Cuentan con programa de vigilancia de la salud?		X	
62. ¿Se realizan inspecciones de seguridad?		X	
63. ¿Se tiene registro de las inspecciones?		X	
64. ¿Se realiza periódicamente el mantenimiento de la maquinaria pesada?		X	

65. ¿Conllevará el proyecto el uso de sustancias o materiales tóxicos o peligrosos para la salud humana o el medio ambiente (flora, fauna, suministro de agua)? ¿Cuáles?	X		Mercurio
66. ¿Quién es el proveedor de mercurio usado en los procesos?		X	Información no suministrada
67. ¿Existe plan de cierre de la explotación y abandono de los montajes e infraestructura?		X	
68. ¿Qué otros minerales aprovechables se encuentran en el área de explotación?	---	---	---

RESPONSABLES: Mayra Marcela Luna Arcila
Emilio José Soto Hoyos

MINA:
La Florida

DEPARTAMENTO:
Antioquia

TIPO DE MINERÍA:
Filón

UBICACIÓN GEOGRÁFICA:
07° 43' 55,3" N
74° 43' 33,3" W

MUNICIPIO:
El Bagre

MINERAL DE INTERÉS:
Oro

PRODUCCIÓN MENSUAL (g/mes):
249,48

PREGUNTA	SI	NO	OBSERVACIÓN
1. ¿Número de empleados?			12 trabajadores
2. ¿Cuál es el horario de trabajo?			Diurno, 8 horas.
3. ¿En qué forma se encuentra disponible el mineral en el yacimiento explotado? ¿Filón? ¿Aluvión? ¿Otro?			Filón
4. ¿Se realiza la extracción por voladura?	X		
5. ¿Se realiza la extracción por métodos mecánicos?		X	
6. ¿Se realiza extracción con retroexcavadora?		X	
7. ¿Se realiza extracción por método hidráulico?		X	
8. ¿De dónde obtienen el agua para esta operación?			Subterránea
9. ¿Se observan procesos erosivos en la mina?	X		
10. ¿Se utilizan maquinarias con combustibles fósiles?	X		Motores de combustión
11. ¿Se usan maquinarias eléctricas?		X	
12. ¿Provocará la actividad ruidos y vibraciones o emisiones de calor?	X		
13. ¿Hay patios de acopio, disposición de escombros o material estéril?		X	
14. ¿Se realiza molienda en barriles o cocos?	X		Entable con 8 barriles
15. ¿Se realiza molienda con molinos chilenos?		X	
16. ¿Se realiza molienda con molino de bolas?		X	
17. ¿Se realiza el trabajo a la intemperie?		X	
18. ¿Se realiza concentración en batea?		X	
19. ¿Se realiza concentración en canalón?		X	
20. ¿Se realiza concentración en concentrador centrífugo?		X	
21. ¿Se realiza concentración con JIG?		X	

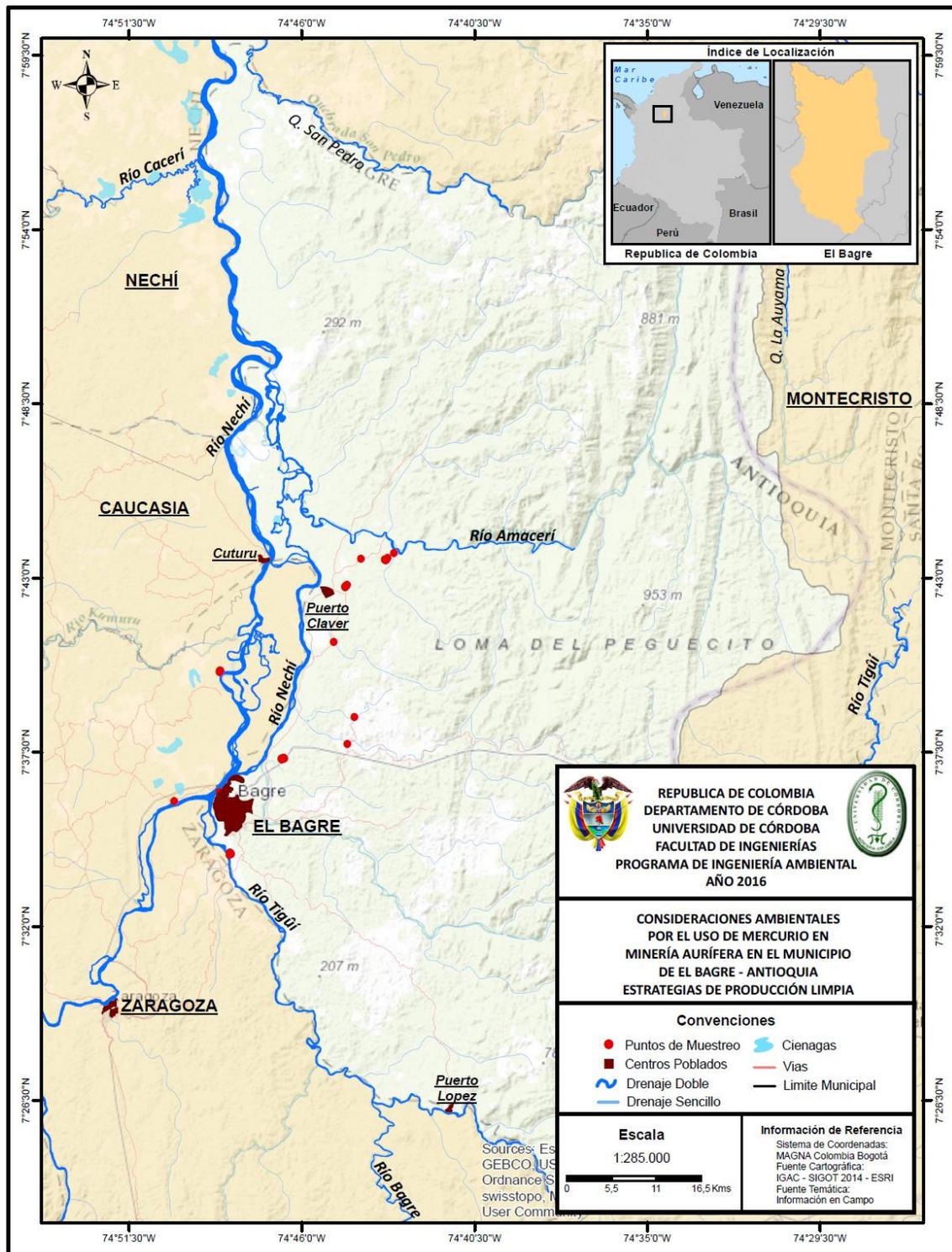
22. ¿Se realiza concentración en mesas vibratorias?		X	
23. ¿Se realiza cianuración?	X		
24. ¿Se producen vertimientos?	X		
25. ¿Se realiza tratamiento al vertimiento generado?		X	
26. ¿Se realiza amalgamación "in situ"?	X		
27. ¿Se realiza amalgamación en canalón?		X	
28. ¿Se realiza amalgamación en barriles o cocos?	X		
29. ¿Se realiza amalgamación en concentradores centrífugos?		X	
30. ¿Se realiza amalgamación en placas amalgamadoras?		X	
31. ¿Se realiza amalgamación en batea y baldes?		X	
32. ¿Provocará la actividad ruidos y vibraciones o emisiones de calor?		X	
33. ¿Se producen vertimientos? ¿Se observan pérdidas?	X		No se cuantifican las pérdidas
34. ¿Se realiza tratamiento al vertimiento generado?		X	
35. ¿Se realiza calcinación y tostación?	X		
36. ¿Se realiza la quema en lugares abiertos?	X		
37. ¿Se mantiene la ropa de trabajo lejos de la ropa de casa?		X	
38. ¿Se usa respirador, para no inhalar los vapores del mercurio?		X	
BALANCE DE MASA			
39. ¿Qué cantidad de mercurio es utilizado en la operación? (kg/mes)			1 Kg mes-1
40. ¿Usan retortas?		X	
41. Si se usan retortas, ¿Qué cantidad de mercurio es recuperado (kg/mes)? ¿Se reutiliza?	---	---	----
42. ¿Cuál es la relación oro/mercurio?			249,48 gr de oro por 1000 gr de mercurio
43. ¿Posee la operación los registros de la cadena de custodia en que se identifiquen todos los elementos de la cadena de proveedores (fabricante, transportista(s), instalaciones de almacenamiento intermedias) que manipulen el mercurio que se transporta a su lugar de faena correspondiente?		X	

44. ¿Dónde se obtiene el suministro de mercurio? ¿Cuál es el precio?			El bague, precio \$ 220000 COP
SALUD Y SEGURIDAD OCUPACIONAL			
45. ¿Están señalizadas las diferentes áreas de la mina?		X	
46. ¿El ingreso es sólo para personal autorizado?		X	
47. ¿Se ha capacitado a los empleados en primeros auxilios?		X	
48. ¿Están los empleados vinculados a una ARL?		X	
49. ¿Trabajadores usan casco de seguridad? ¿en qué etapa del proceso?		X	
50. ¿Trabajadores usan calzado de seguridad (Botas, zapatos y/o protectores.)? ¿en qué etapa del proceso?		X	
51. ¿Trabajadores usan gafas de protección? ¿en qué etapa del proceso?		X	
52. ¿Trabajadores usan protección respiratoria? ¿en qué etapa del proceso?		X	
53. ¿Trabajadores usan guantes de protección? ¿en qué etapa del proceso?		X	
54. ¿Trabajadores usan protección auditiva (Tapones de diversos tipos y orejeras)? ¿en qué etapa del proceso?		X	
55. ¿Se usa máscara de seguridad? ¿en qué etapa del proceso?		X	
56. ¿Se usan lentes de seguridad, con sello facial? ¿en qué etapa del proceso?		X	
57. ¿Trabajadores usan los EPP de manera correcta?		X	
58. ¿En relación a los EPP, su uso está señalizado en los lugares de trabajo?		X	
59. ¿Cuentan con extintores?		X	
60. ¿La ventilación es apropiada?		X	
61. ¿Cuentan con programa de vigilancia de la salud?		X	
62. ¿Se realizan inspecciones de seguridad?		X	
63. ¿Se tiene registro de las inspecciones?		X	
64. ¿Se realiza periódicamente el mantenimiento de la maquinaria pesada?		X	

65. ¿Conllevará el proyecto el uso de sustancias o materiales tóxicos o peligrosos para la salud humana o el medio ambiente (flora, fauna, suministro de agua)? ¿Cuáles?	X		Mercurio
66. ¿Quién es el proveedor de mercurio usado en los procesos?		X	Información no suministrada
67. ¿Existe plan de cierre de la explotación y abandono de los montajes e infraestructura?		X	
68. ¿Qué otros minerales aprovechables se encuentran en el área de explotación?	---	---	---

RESPONSABLES: Mayra Marcela Luna Arcila
Emilio José Soto Hoyos

Anexo 3. Puntos de muestreo



Fuente: Grupo de trabajo.

Anexo 4. Evaluación de los impactos ambientales

IMPACTO	C	P	E	D	M	Ca	IMPORTANCIA DEL IMPACTO AMBIENTAL
Remoción y pérdida de la cobertura vegetal	N	1	0,3	1	0,7	4,47	Moderado
Alteración de la fauna silvestre	N	0,8	0,6	0,7	0,6	3,7	Moderado
Deterioro del paisaje natural	N	1	1	1	1	10	Grave
Contaminación del aire	N	1	0,9	1	1	9,3	Grave
Pérdida y degradación del suelo	N	1	0,5	1	1	6,5	Relevante
Acumulación de sedimentos en cuerpos de agua	N	0,9	0,2	1	0,5	3,33	Moderado
Aumento en el uso del agua	N	1	0,5	1	0,9	6,15	Relevante
Contaminación del suelo	N	0,9	0,5	0,7	0,5	3,47	Moderado
Deterioro en la salud humana	N	1	0,69	1	1	7,83	Grave
Contaminación del agua	N	1	0,69	1	1	7,83	Grave
Contaminación de ecosistemas	N	0,9	0,5	0,9	1	5,58	Relevante

Fuente: Grupo de trabajo.