



1859

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS  
NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y  
CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

“COMPROBACIÓN DE LA EFICACIA DEL PROCESO  
DE REMEDIACIÓN DEL SUELO EN EL BARRIO  
PUENTE AZUL EN DONDE SE HAN DESARROLLADO  
ACTIVIDADES DE EXTRACCIÓN AURÍFERA, CANTÓN  
ZAMORA”.

Tesis de grado previo a la  
obtención del título de ingeniero  
en Manejo y Conservación del  
Medio Ambiente

**AUTOR:**

Byron Eduardo Carrillo Guarnizo

**DIRECTOR:**

Ing. Osmani López Celi Mg. Sc.

**ZAMORA – ECUADOR**

**2016**

## CERTIFICACIÓN

Ing. Osmani López Celi. Mg.Sc.

DOCENTE DE LA MODALIDAD DE ESTUDIOS PRESENCIAL DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE DEL PLAN DE CONTIGENCIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA, SEDE ZAMORA.

### CERTIFICO:

Que el presente trabajo de titulación denominado: **“COMPROBACIÓN DE LA EFICACIA DEL PROCESO DE REMEDIACIÓN DEL SUELO EN EL BARRIO PUENTE AZUL EN DONDE SE HAN DESARROLLADO ACTIVIDADES DE EXTRACCIÓN AURÍFERA, CANTÓN ZAMORA”**, desarrollado por el señor Byron Eduardo Carrillo Guarnizo, ha sido elaborado bajo mi dirección y cumple con los requisitos de fondo y de forma que exigen los respectivos reglamentos e instructivos.

Por ello autorizo su presentación y sustentación.

Zamora, 27 de Abril de 2016

Atentamente



Ing. Osmani López Celi. Mg.Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## AUTORÍA

Yo **Byron Eduardo Carrillo Guarnizo**, declaro ser autor del presente Trabajo de Tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

**AUTOR:** Byron Eduardo Carrillo Guarnizo

**FIRMA:**



---

**CÉDULA:** 1900666635

**FECHA:** Loja, Junio de 2016

## **CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Yo, **BYRON EDUARDO CARRILLO GUARNIZO**, declaro ser autor de la Tesis titulada **“COMPROBACIÓN DE LA EFICACIA DEL PROCESO DE REMEDIACIÓN DEL SUELO EN EL BARRIO PUENTE AZUL EN DONDE SE HAN DESARROLLADO ACTIVIDADES DE EXTRACCIÓN AURÍFERA, CANTÓN ZAMORA”**, como requisito para optar por el grado de: **INGENIERO EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Digital Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la Tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización en la ciudad de Loja, a los quince días del mes de junio del dos mil diez y seis, firma el autor:

**FIRMA:** \_\_\_\_\_



**AUTOR:** Byron Eduardo Carrillo Guarnizo

**CÉDULA:** 1900666635

**DIRECCIÓN:** Cumbaratza, Barrio Tierras Coloradas Calle: Av. Troncal Amazónica

**CORREO ELECTRÓNICO:** bycar.91@gmail.com

**TELÉFONO:** 072605418    **CELULAR:** 0981648837

### **DATOS COMPLEMENTARIOS**

**DIRECTOR DE TESIS:** Ing. Osmani López Celi., Mg.Sc.

#### **TRIBUNAL DE GRADO**

Ing. Galo Ramos Campoverde, Mg.Sc.

(Presidente)

Ing. Betty Alexandra Jaramillo Tituaña, Mg.Sc.

(Vocal)

Ing. Fausto Ramiro García Vasco, Mg.Sc.

(Vocal)

## DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a mis padres Lucía Guarnizo y Francisco Carrillo quienes siempre sin duda alguna han sido los pilares fundamentales en mi vida y que sin ellos jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora he logrado. Su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar, no solo para mí, sino para mis hermanos y familia en general.

A mi amada y recordada esposa Maidé Correa que desde el cielo me brinda luz y fuerzas para seguir adelante, ya que siempre me apoyo incondicionalmente en el cumplimiento de mi formación profesional.

A mi hijo Darikson Carrillo que tanto lo amo, por saber esperarme durante la culminación de la tesis y toda mi formación superior de tercer nivel, para lo cual ha sido un esfuerzo muy grande estar lejos de ti hijo mío.

A mis amigos, compañeros y todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido para el logro de mis objetivos.

**Byron Carrillo**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar expreso mi agradecimiento a Dios por haberme guiado por el camino de la felicidad hasta ahora.

A la Universidad Nacional de Loja, al Área Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables, por haber abrírnos sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

A mis maestros catedráticos que con sus valiosos conocimientos supieron guiarme durante toda la carrera estudiantil y de forma especial agradezco profundamente a la Ing. María Luisa Díaz y al Ing. Osmani López quien asumió el cargo de director de mi trabajo de titulación, y a todos los miembros que han formado parte de este proceso de desarrollo de investigación.

**Byron Carrillo**

## **1. TÍTULO**

**“COMPROBACIÓN DE LA EFICACIA DEL PROCESO DE REMEDIACIÓN DEL SUELO EN EL BARRIO PUENTE AZUL EN DONDE SE HAN DESARROLLADO ACTIVIDADES DE EXTRACCIÓN AURÍFERA, CANTÓN ZAMORA”.**

## 2. RESUMEN

La presente investigación de comprobación de la eficacia del proceso de remediación del suelo en el barrio Puente Azul en donde se han desarrollado actividades de extracción aurífera, fue elaborada con la finalidad de conocer si existe contaminación por mercurio y plomo. La investigación consta de 5 partes: a). Revisión bibliográfica, b). Metodología, c). Verificación de proceso de remediación, d). Verificación de contaminación del suelo, y e). Verificación de contaminación del pasto.

Para la revisión bibliográfica, se recolecto la información necesaria enfocada al tema de investigación. Los contenidos literarios hacen referencia a la contaminación del suelo por metales pesados y a la vez sus efectos. Para ello fue fundamental también hacer referencia a la biorremediación y mucha más información imprescindible. La información fue de oportuna ayuda al momento de argumentar científicamente los resultados.

En la metodología que se aplicó, se fundamentan específicamente en la adquisición de información primaria y secundaria en escritorio como en campo. A la vez se plasmó acciones como entrevistas, listas de chequeo, procesos de muestreo y otros. Todas las acciones o medidas plasmadas y ejecutadas en campo tienen como fin llegar a obtener resultados. La metodología se la planteó de acuerdo a la normativa legal vigente y otros estudios relevantes a la temática.

La verificación de remediación del suelo, tuvo como finalidad constatar y conocer el respectivo proceso de reducción de los niveles de concentración de mercurio y plomo en el sector Puente Azul. También fue necesario verificarlo al

proceso de remediación del suelo aprobado por la autoridad ambiental, lo cual salió favorable su respectivo cumplimiento. Es necesario mencionar que las medidas plasmadas por las compañías mineras en los estudios ambientales aprobados con respecto a la remediación del suelo no fueron óptimas de acuerdo a la normativa ambiental. Por lo tanto es claro que la entidad ambiental no está cumpliendo a cabalidad la aprobación del Plan de Rehabilitación de Áreas Afectadas.

En la verificación de contaminación del suelo, se la realizó aplicando el muestreo aleatorio simple a distintas profundidades. Posteriormente las muestras estudiadas en laboratorio y analizadas se determinaron que no sobrepasan los límites máximos permisibles en los parámetros mercurio y plomo. También se tomó en consideración que otros parámetros como el pH, % de materia orgánica si influyen ya sea en la concentración o movilidad de los contaminantes en el suelo.

En la verificación de concentración del mercurio y plomo en el pasto, las muestras que se tomaron y enviaron al laboratorio dieron como resultado datos menores a los límites máximos permisibles establecidos por entidades internacionales, además se tomó como referencia otras investigaciones. Por lo tanto el área de investigación en la actualidad no está contaminado por mercurio y plomo. Finalmente es necesario mencionar que con la secuencia de las partes o pasos de la investigación fue imprescindible para su exitosa ejecución y llegar a lo que se quiso demostrar.

## 2.1. SUMMARY

This researching testing the effectiveness of soil remediation process in the Puente Azul neighborhood, where some gold mining activities have been developed, it was developed in order to know if there is contamination of mercury and lead. The research consists of five parts: a) Literature review, b) Methodology, c) Verification of the remediation process, d) Verification of soil contamination, e) Verification of pasture contamination.

For the literature review, the necessary information is collected focused on the research topic. The literary contents refer to soil contamination by heavy metals and their effects simultaneously. Fundamental for this was also referred to the remediation and much more essential information. The information was timely help when arguing scientifically the results.

In the methodology applied, they are based on the acquisition of primary and secondary information desk and in the field. At the same time, actions such as interviews, checklists and other sampling processes are reflected. All actions performed or embodied and field measures are designed to get results. The methodology was proposed in accordance with the current legislation and other relevant thematic studies.

The verification of soil remediation, aimed to find and meet the respective process of reducing the concentration levels of mercury and lead in the area of Puente Azul. It was also necessary to check the soil processing approved by the environmental authority, which worked out their respective compliance. It should be mentioned that the measures set out by mining companies in approved environmental studies regarding to soil remediation were not optimal according to

the environmental regulations. For both, it is clear that the environmental authority is not fully complying approval the Rehabilitation Plan of the Affected Areas.

In checking soil contamination, it is carried out using simple random sampling at different depths. Later, the samples studied in the laboratory and analyzed were determined not exceeding the maximum permissible limits on the parameters of mercury and lead. It also took into consideration other parameters such as pH, % organic matter if they influence either in concentration or mobility of contaminants in soil.

In verifying concentration of mercury and lead in the grass, samples were taken and sent to the laboratory resulted in minor details the limits set by international bodies. In addition, reference was made to other investigations. Therefore, the area of research today is not contaminated by mercury and lead. Finally, it should be mentioned that the sequence of parts or steps of the research was essential for successful implementation and get to what we wanted to show.

### 3. INTRODUCCIÓN

La provincia de Zamora Chinchipe, ha sido desde tiempos un lugar privilegiado en el Ecuador, cuenta con yacimientos minerales de alto valor económico. Esta riqueza ha sido explotada sin una planificación y sin tecnología apropiada. Lo más importante y lamentable es la irresponsable explotación por parte de las concesionarias y dueños particulares que siempre irrespetan la naturaleza. Las actividades extractivitas han dejado como consecuencia alteraciones medioambientales y socioeconómicas de gran magnitud; por ello para el lavado del material o subsuelo y en la liquidación del oro se empleaba el mercurio, dejando lamentables repercusiones en el suelo y a la vez no aptos para el cultivo.

El presente proyecto de investigación está fundamentado en la generación de información y conocimientos basados en una serie de observaciones simultáneas en una finca del barrio Puente Azul. En el área de investigación se ha realizado actividad minera aurífera y consecuentemente procesos de remediación. A la vez mediante la adquisición de muestras del suelo para su respectivo análisis conocer el grado de contaminación por metales pesados existentes en el suelo. Incluso permitió determinar la calidad de los pastos existentes en el lugar.

El propósito de esta investigación tuvo como finalidad comprobar la eficacia del proceso de remediación del suelo en el barrio Puente Azul. Para ellos fue necesario establecer un área donde se hayan desarrollado actividades de extracción aurífera. También el estudio se fundamenta en demostrar la calidad del pasto. Como consecuencia se pretende demostrar la condición del suelo y

pastos donde anteriormente se han desarrollan actividades mineras y posteriormente agropecuarias.

Es importante la investigación, ya que en el sector no se han realizado estudios concernientes al tema. Además es de suma importancia para el dueño de la finca, Ministerio del Ambiente, Agencia de Regulación y Control Minero, el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. Es fundamental nombrar al MAGAP, porque el pasto utilizado para remediar suelos intervenidos por minería es posteriormente utilizado como alimento para el ganado vacuno. La producción ganadera la realizan con fines comerciales y como sustento alimenticio propio al hacer uso de la carne, leche y demás derivados como el queso y quesillo.

El desarrollo del presente estudio tiene como objetivo central “Comprobar la calidad del suelo y pastos en suelos remediados luego del proceso de extracción aurífera a cielo abierto en una finca del Barrio Puente Azul”. Con la finalidad de dar cumplimiento al mencionado estudio, se planteó y desarrollo los siguientes objetivos específicos:

- Verificar en campo el proceso de remediación del suelo en áreas del barrio Puente Azul en donde se han realizado actividades de extracción aurífera.
- Conocer el nivel de remediación del suelo contaminado por mercurio y plomo a distintas profundidades en el barrio Puente Azul donde se han realizado actividades de extracción aurífera.

- Evaluar el contenido de mercurio y plomo en pastos sembrados en áreas que han recibido un proceso de remediación.

## 4. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1. Marco teórico y desarrollo conceptual

#### 4.1.1. Suelo.

Según Maloka, (2009) establece que:

El suelo es la capa superficial que cubre el planeta y sobre la cual habitan todas las especies. En comparación con el cuerpo de los seres humanos el suelo se considerada como la piel de la tierra. La constante transformación de rocas y sedimentos hacen que éste se produzca. Sus características las determinan las condiciones del clima y las especies que se encuentran sobre una superficie. Es importante tener en cuenta que tierra y suelo no son lo mismo, porque la tierra es el conjunto donde se encuentran diferentes elementos de la naturaleza entre ellos el suelo (párr. 1-2).

##### 4.1.1.1. *Propiedades físicas.*

Según García, Hill, Kaplán, Ponde de León , y Rucks, (2014) manifiestan que:

Las propiedades físicas de los suelos, determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes. Se considera necesario para las personas

involucradas en el uso de la tierra, conocer las propiedades físicas del suelo, para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas, en qué medida y cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas, y comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles (p. 2).

Maloka, (2009) menciona que las propiedades principales son: “color, textura, estructura, porosidad, permeabilidad, profundidad efectiva y drenaje” (párr. 1-7).

#### **4.1.1.2. *Propiedades químicas.***

Son características del suelo que describen el comportamiento de los elementos, sustancias y componentes que lo integran como materia orgánica, nutrientes y también algunas sustancias que lo perjudican. Las más importantes son el pH (acidez-alcalinidad), conductividad y capacidad de intercambio de elementos. (Maloka, 2009, párr. 1).

#### **4.1.1.3. *Propiedades biológicas.***

Según Maloka, (2009) menciona que:

Son características que se presentan en el suelo por la actividad de organismos vivos como animales y plantas dentro y sobre él. Las más importantes son: La presencia de materia orgánica y de los productos que se derivan de ella como humus y nutrientes. La materia orgánica permite que se mejoren otras propiedades del suelo como son: fertilidad, aireación e infiltración (párr. 1).

#### **4.1.2. Actividad minera aurífera a cielo abierto.**

Actividad industrial que consiste en la extracción de minerales o elementos provenientes del suelo y subsuelo mediante la remoción de grandes cantidades de sustratos pétreos. Este mineral puede estar presente en concentraciones muy bajas, en relación con la cantidad del material removido. (Cruz , Hernández , Paz, y Saavedra, 2013, p. 3).

La minería a cielo abierto es el método de minería que se utiliza cuando el metal a ser explorado se extiende muy profundamente en el subsuelo, razón por la cual es necesario remover diversas capas de suelo hasta llegar al metal. La minería a cielo abierto generalmente tiene las siguientes fases: a) exploración: la utilización de diversas metodologías para conocer la ubicación y densidad del depósito metálico; b) explotación: el desarrollo de la mina en sí, incluye la construcción de vías de acceso, la preparación y limpieza del terreno, y la activación de la mina (excavación y desechos, extracción del metal, preparación y beneficio, desechos de cola); y c) cierre de la mina: su objetivo debe ser la restauración de local de la mina al estado en el cual se encontraba antes de la actividad. (Figuroa y Vásquez, 2010, p. 14).

Gordillo, (2014) afirma que:

En el siglo XVII la actividad minera de la zona oriental se redujo a la minería aurífera informal a lo largo de los ríos San Miguel, Quijos, Napo, Upano y Zamora. En 1981 un grupo de personas que estaban lavando oro aluvial en el río Nambija, ubicado 20 Km al este de Zamora, se sorprendieron por la cantidad de oro que procedía de las cabeceras, siguiendo aguas arriba redescubrieron Nambija. Los mineros construyeron

gigantescas cavernas llamadas “catedrales”, siguiendo al mineral, distribuidas por todo el frente del cerro de Nambija, generando inestabilidad y riesgo de deslizamientos. En Ecuador la minería aurífera formal e informal explota entre 1500 y 2000 toneladas diarias de material con diversos contenidos de oro (p. 30).

#### **4.1.2.1. Impactos por la actividad aurífera al suelo por metales pesados.**

Galán y Romero, (2008) mencionan que:

La presencia en los suelos de concentraciones nocivas de algunos elementos químicos (metales pesados) y compuestos (contaminantes) es un tipo especial de degradación que se denomina contaminación. El contaminante está siempre en concentraciones mayores de las habituales (anomalías) y en general tiene un efecto adverso sobre algunos organismos (p. 48).

El suelo actúa en general como una barrera protectora de otros medios más sensibles (hidrológicos y biológicos), filtrando, descomponiendo, neutralizando o almacenando contaminantes y evitando en gran parte su biodisponibilidad. Esta capacidad depuradora de un suelo depende de los contenidos en materia orgánica, carbonatos y oxihidróxidos de hierro y manganeso, de la proporción y tipo de minerales de la arcilla, de la capacidad de cambio catiónico del suelo, del pH, textura, permeabilidad y actividad microbiana. Por tanto, para cada situación, el poder depurador de un suelo tiene un límite. Cuando se superan esos límites para una o varias sustancias, el suelo funciona como contaminado y es fuente de contaminantes. El poder amortiguador de un

suelo representa la capacidad que tiene para controlar los efectos negativos de los contaminantes y volverlos inocuos o inactivos (Galán y Romero, 2008, p. 49).

Según Cheng et al., citado por Galán y Romero, (2008) menciona que:

Para los suelos agrícolas se ha definido la denominada “Capacidad de Carga para Metales Pesados”, que depende de las propiedades del suelo, el tipo e historia de la contaminación, organismos indicadores de la toxicidad, y otros parámetros ambientales. Los suelos arcillosos retienen más metales por adsorción o en el complejo de cambio de los minerales de la arcilla. Por el contrario, los arenosos carecen de capacidad de fijación y puede contaminarse el nivel freático (p. 49, 51).

En general, la movilidad de los metales pesados es muy baja, quedando acumulados en los primeros centímetros del suelo, siendo lixiviados a los horizontes inferiores en muy pequeñas cantidades. Por eso la presencia de altas concentraciones en el horizonte superior decrece drásticamente en profundidad cuando la contaminación es antrópica. Esto sucede precisamente porque la disponibilidad de un elemento depende también de las características del suelo en donde se encuentra. (Galán y Romero, 2008, p. 51).

La contaminación del suelo es hoy en día una de los temas ambientales más importantes para la Sociedad y la Administración. La caracterización, evaluación y remediación de un suelo contaminado es uno de los principales retos ambientales por abordar en los próximos años. La biodisponibilidad de los metales desde los suelos a las plantas y otros organismos y el riesgo para la salud siguen siendo cuestiones por resolver (Galán y Romero, 2008, p. 48).

“La toxicidad de un elemento o compuesto químico es la capacidad que tiene ese material de afectar adversamente alguna función biológica” (Galán y Romero, 2008, p. 48, 49).

La movilidad de un metal depende no sólo de su especiación química, sino de una serie de parámetros del suelo tales como pH, materia orgánica, carbonatos, minerales de la arcilla, etc. La caracterización, evaluación y recuperación de un suelo contaminado por metales pesados, especialmente cuando se va a hacer un cambio de uso, es uno de los mayores desafíos ambientales actuales. (Galán y Romero, 2008, p. 51).

Dependiendo de factores geológicos, los metales encontrados en los residuos mineros pueden incluir arsénico, cobalto, cobre, cadmio, mercurio, aluminio, cromo, oro, hierro, plomo, plata, zinc, molibdeno, antimonio. Los metales son esenciales para la vida en pequeñas cantidades. En concentraciones más altas, sin embargo, pueden ser altamente tóxicos y fatales. (ProtectEcuador, 2013, párr. 2).

#### **4.1.2.2. Pequeña minería**

La Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador, (2014) en la Ley de Minería considera pequeña minería aquella que:

En razón de las características y condiciones geológico mineras de los yacimientos de sustancias minerales metálicas, no metálicas y materiales de construcción, así como de sus parámetros técnicos y económicos, se hace viable su explotación racional en forma directa, sin perjuicio de que le

precedan labores de exploración, o de que se realicen simultáneamente las labores de exploración y explotación (p. 64).

#### **4.1.3. Mercurio.**

El Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2010) considera que:

El mercurio es un elemento constitutivo de la tierra, un metal pesado. En su forma pura, se lo conoce como mercurio “elemental” o “metálico” representado también como Hg(0) o Hg<sup>0</sup>. Rara vez se le encuentra en su forma pura, como metal líquido; es más común en compuestos y sales inorgánicas. El mercurio puede enlazarse con otros compuestos como mercurio monovalente o divalente representado como Hg(I) y Hg(II) o Hg<sup>2+</sup>, respectivamente. Por tratarse de un elemento, el mercurio no se puede descomponer ni degradar en sustancias inofensivas. Durante su ciclo, el mercurio puede cambiar de estado y especie, pero su forma más simple es el mercurio elemental, nocivo para los seres humanos y el medio ambiente. Una vez liberado a partir de los minerales, o depósitos de combustibles fósiles y minerales yacentes en la corteza terrestre, y emitido a la biósfera, el mercurio puede tener una gran movilidad y circular entre la superficie terrestre y la atmósfera. Los suelos superficiales de la tierra, las aguas y los sedimentos de fondo se consideran los principales depósitos biosféricos de mercurio (p. 10).

#### **4.1.3.1. Fuentes de contaminación del mercurio.**

##### *4.1.3.1.1. Origen natural.*

“Las liberaciones en la biosfera pueden ser originadas por la movilización natural del mercurio generado de forma natural en la corteza terrestre, por actividad volcánica o por erosión de las rocas” (PNUMA, 2010, p. 10).

##### *4.1.3.1.2. Origen antropogénico.*

Asociadas con la actividad humana actual debido a la movilización de impurezas de mercurio en materias primas como los combustibles fósiles, en particular el carbón y en menor grado el gas y el petróleo y otros minerales extraídos, tratados y reciclados; las liberaciones antropógenas actuales generadas por el mercurio utilizado intencionalmente en productos y procesos, causadas por liberaciones durante la producción, fugas, eliminación o incineración de productos de desecho u otras liberaciones; y la removilización de liberaciones antropógenas pasadas depositadas en suelos, sedimentos, aguas, vertederos y pilas de desechos/residuos. (PNUMA, 2010, p. 11).

#### **4.1.3.2. Minería y mercurio.**

El mercurio elemental se emplea en la recuperación del oro (donde se lo agrega al material de mina, se concentra la amalgama Au-Hg y se la vaporiza a altas temperaturas para separar el oro). La emisión de mercurio por la actividad minera alcanza magnitudes inverosímiles: La cantidad de mercurio emitida por 100.000 pequeños mineros en el Ecuador se calcula en 50 toneladas anuales, con tendencia a aumento, a pesar de las modernas restricciones impuestas para la importación de este metal. (Astudillo y Carrillo, 2009, p. 1, 4).

#### **4.1.3.3. Efectos del mercurio a la salud humana.**

El mercurio y sus compuestos son extremadamente tóxicos para los seres humanos y el medio ambiente. En grandes cantidades puede ser mortal para los humanos, pero incluso en dosis relativamente bajas pueden afectar gravemente el desarrollo de sistemas nerviosos. La toxicidad para los humanos y otros organismos depende de la forma química, la cantidad, la vía de exposición y la vulnerabilidad de la persona expuesta; algunas personas son especialmente sensibles y vulnerables a la exposición al mercurio, en particular el feto, el recién nacido y los niños pequeños debido a la sensibilidad del sistema nervioso en desarrollo. Así, los padres, las mujeres embarazadas y mujeres que desean quedar embarazadas sobre todo, deben ser conscientes del daño potencial del metil mercurio. Los límites críticos permisibles para evitar efectos ecológicos por el mercurio en suelos orgánicos se han fijado en 0,07 - 0,3 mg/kg de mercurio total en los suelos. El riñón es, junto con el sistema nervioso central, un órgano crítico en la exposición al vapor de mercurio. La tiroides puede acumular mercurio en caso de exposición continua a mercurio. Se ha mostrado que una exposición ocupacional moderada afecta un sistema particular de enzimas de la tiroides a niveles de mercurio en la orina de 15-30 mg/g de creatinina, los mismos niveles son mencionados en los informes sobre los efectos menores en el sistema nervioso central y los riñones. (PNUMA, 2010, p. 12, 13).

#### **4.1.3.4. Efectos del mercurio al medio ambiente.**

El PNUMA, (2010) afirma que:

Un factor muy importante de los efectos del mercurio en el medio ambiente es su capacidad para acumularse en organismos y ascender por la cadena

alimentaria. Hasta cierto punto, todas las formas de mercurio pueden llegar a acumularse, pero el metil mercurio se absorbe y acumula más que otras formas. El mercurio inorgánico también puede ser absorbido pero por lo general en menores cantidades y con menor eficiencia que el metil mercurio. La biomagnificación del mercurio es lo que más incide en los efectos para animales y seres humanos; al parecer, los peces adhieren con fuerza el metil mercurio; casi el 100% del mercurio que se bioacumula en peces depredadores es metil mercurio (p. 13).

#### **4.1.4. Plomo.**

Según el PNUMA, (2010) con respecto al plomo menciona que:

En su forma elemental es de color blanco plateado y se vuelve de color gris azulado cuando se expone al aire. Pertenece al Grupo IVA de la Tabla Periódica. Sus propiedades incluyen: un bajo punto de fusión, alta densidad, facilidad de fundición, baja resistencia, maleabilidad, facilidad de fabricación, resistencia a los ácidos, y resistencia a la corrosión. En la naturaleza el plomo se encuentra con el mineral de zinc, plata y cobre y se extrae junto con estos metales. Aproximadamente tres cuartas partes del consumo de plomo se utiliza principalmente en la fabricación de baterías, mientras que un quinto en láminas de plomo para el techado de viviendas, para la fabricación de municiones, balas de plomo para escopetas, en aleaciones metálicas, revestimientos de cables y para los aditivos de la gasolina (p. 10).

#### **4.1.4.1. Fuentes de contaminación del plomo.**

##### *4.1.4.1.1. Origen natural.*

“El plomo se encuentra en el ambiente en forma natural (...). El elemento químico entra al ambiente a través de liberaciones desde minas de plomo y otros metales” (PNUMA, 2010, p. 57).

##### *4.1.4.1.2. Origen antropogénico.*

La mayoría de los niveles altos que se encuentran en el ambiente se originan de actividades humanas. Los niveles ambientales de plomo han aumentado más de mil veces durante los tres últimos siglos como consecuencia de la actividad humana. El mayor incremento ocurrió entre los años 1950 y 2000 y reflejó el aumento del uso de gasolina con plomo en todo el mundo. El plomo puede entrar al ambiente a través de fábricas que manufacturan o usan plomo, aleaciones de plomo o compuestos de plomo. El plomo es liberado al aire cuando se quema carbón, petróleo o desechos (PNUMA, 2010, p. 57).

#### **4.1.4.2. Minería y plomo.**

El PNUMA, (2010) menciona que:

La minería produce más del 90 por ciento del consumo mundial actual y el reciclaje representa alrededor del 10 por ciento del total del consumo mundial de plomo, un claro ejemplo son las baterías son a base de plomo y al no ser tratadas de una forma adecuada el momento de que termine su vida útil en los equipos que se utilizan para las actividades extractivas mineras pues proceden a quedarse grandes cantidades de éste metal en

el suelo y fuentes de agua afectando de forma negativa las propiedades físicas, químicas y biológicas (p. 10).

#### **4.1.4.3. Efectos del plomo a la salud humana.**

El plomo es tóxico aún a muy bajos niveles de exposición y tiene efectos agudos y crónicos en la salud humana. Se trata de una sustancia tóxica que puede causar daños en el sistema de múltiples órganos, sean neurológicos, cardiovasculares, renales, gastrointestinales, hematológicos y efectos en la reproducción. La exposición a corto plazo a altos niveles de plomo puede causar vómitos, diarrea, convulsiones, coma e incluso la muerte. A largo plazo (crónica) la exposición al plomo en los seres humanos da lugar a efectos en la sangre, sistema nervioso central (SNC), presión arterial, los riñones y el metabolismo de la vitamina D. La exposición al plomo en niños está relacionada con una disminución de su coeficiente intelectual (IQ). El sistema nervioso es el sistema más sensible a la exposición al plomo, quizás no haya para el plomo un umbral mínimo que indique el inicio de efectos neurológicos adversos en los niños. Se han detectado daños neurológicos a niveles de exposición que antes se consideraba que no causarían daño ( $<10 \mu\text{g/dL}$ ). La exposición aguda a niveles muy altos de plomo puede provocar encefalopatía en niños y otros signos asociados como: Ataxia, coma, convulsiones, la muerte, híper irritabilidad, estupor. Los efectos adversos pueden presentarse a niveles bajos de plomo en sangre, de menos de  $10 \mu\text{g/dL}$  en algunos casos, y posiblemente no se puedan detectar mediante una exploración clínica. Algunos de los efectos neurológicos del plomo que pueden persistir hasta la adultez son: Puede haber una diferencia en cuanto a los efectos neurológicos entre un adulto expuesto al plomo en la

edad adulta y un adulto expuesto al plomo en su niñez, puesto que en este último caso su cerebro se está desarrollando. Los efectos neurológicos en los niños, incluyendo el ADHD, pueden persistir en la edad adulta. (PNUMA, 2010, p. 12).

#### **4.1.4.4. Efectos del plomo al medio ambiente.**

El PNUMA, (2010) menciona que:

Debido a la capacidad de unión de los minerales del suelo y el humus, las aguas subterráneas por lo general contienen concentraciones muy bajas de plomo, y la difusión de plomo de los depósitos de las aguas subterráneas se debe esperar como un proceso relativamente lento. La movilidad de plomo en el suelo depende del pH del suelo y de materia orgánica. En general la relativa inmovilidad de absorción de plomo en el suelo disminuye su biodisponibilidad para los seres humanos y la vida terrestre otros. Los compuestos orgánicos de plomo pueden bioacumularse en plantas y animales, El plomo se bioacumula en los organismos, en particular, en la biota que se alimenta principalmente de partículas, pero la biomagnificación de plomo inorgánico en la cadena alimentaria acuática no es aparente, pues los niveles de plomo, así como los factores de bioacumulación, disminuyen en el nivel trófico. Esto se explica en parte por el hecho de que en los vertebrados, el plomo se almacena principalmente en el hueso, que reduce el riesgo de transmisión de conducir a otros organismos en la cadena alimentaria. La distribución de plomo en los animales está estrechamente relacionada con el metabolismo del calcio (p. 12).

#### **4.1.5. Tecnologías de remediación.**

Velasco y Volke, (2002) afirman que:

El término «tecnología de tratamiento» implica cualquier operación unitaria o serie de operaciones unitarias que altera la composición de una sustancia peligrosa o contaminante a través de acciones químicas, físicas o biológicas de manera que reduzcan la toxicidad, movilidad o volumen del material contaminado. Las tecnologías de remediación representan una alternativa a la disposición en tierra de desechos peligrosos que no han sido tratados, y sus capacidades o posibilidades de éxito, bajo las condiciones específicas de un sitio, pueden variar ampliamente (p. 27).

##### **4.1.5.1. Tipos de tratamiento.**

Según Velasco y Volke, (2002) “esta clasificación se basa en el principio de la tecnología de remediación” (p. 28). Se divide en tres tipos de tratamiento:

###### **4.1.5.1.1. Tratamientos biológicos (biorremediación).**

“Utilizan las actividades metabólicas de ciertos organismos (plantas, hongos, bacterias) para degradar (destrucción), transformar o remover los contaminantes a productos metabólicos inocuos” (Velasco y Volke, 2002, p. 28).

###### **4.1.5.1.2. Tratamientos fisicoquímicos.**

“Este tipo de tratamientos, utiliza las propiedades físicas y/o químicas de los contaminantes o del medio contaminado para destruir, separar o contener la contaminación” (Velasco y Volke, 2002, p. 28).

#### 4.1.5.1.3. *Tratamientos térmicos.*

“Utilizan calor para incrementar la volatilización (separación), quemar, descomponer o fundir (inmovilización) los contaminantes en un suelo” (Velasco y Volke, 2002, p. 29).

#### 4.1.5.2. *Técnicas de tratamiento in situ.*

Las técnicas de tratamiento *in situ* son las que se aplican sin necesidad de trasladar el suelo o el agua subterránea afectados por el problema. Suelen ser de utilidad cuando el problema afecta a un volumen muy importante del suelo, que haga inviable su aislamiento y su tratamiento *ex situ*, o cuando éste supone un coste económico que lo hace inviable, ya que el tratamiento *in situ* suele implicar un menor coste económico. El tratamiento *in situ* puede ser de dos tipos: biológico o físico-químico. (Higueras y Oyarzun, 2015, párr. 35).

##### 4.1.5.2.1. *Las técnicas de remediación in situ de carácter biológico.*

Según Glazer y Nikaido, citado por Rodríguez y Sánchez, (2003) mencionan que:

**La biorremediación.-** Es una tecnología que utiliza el potencial metabólico de los microorganismos (fundamentalmente bacterias, pero también hongos y levaduras) para transformar contaminantes orgánicos en compuestos más simples poco o nada contaminantes, y, por tanto, se puede utilizar para limpiar terrenos o aguas contaminadas.

Ventajas técnicas de la biorremediación:

- Mientras que los tratamientos físicos y buena parte de los químicos están basados en transferir la contaminación entre medios gaseoso, líquido y sólido, en la biorremediación se transfiere poca contaminación de un medio a otro.
- Es una tecnología poco intrusiva en el medio y generalmente no requiere componentes estructurales o mecánicos dignos de destacar.
- Comparativamente, es económica y, al tratarse de un proceso natural, suele tener aceptación por parte de la opinión pública.

Inconvenientes y limitaciones:

- La biodegradación incompleta puede generar intermediarios metabólicos inaceptables, con un poder contaminante similar o incluso superior al producto de partida.
- Algunos compuestos, como veremos, son resistentes o inhiben la biorremediación.
- El tiempo requerido para un tratamiento adecuado puede ser difícil de predecir y el seguimiento y control de la velocidad y/o extensión del proceso es laborioso (p. 1, 2).

Según Ríos, (2005) menciona que:

**La fitorremediación.-** “Es una técnica biológica que en el detalle se puede subdividir en varios aspectos, que corresponden a distintas posibilidades de aplicación de las plantas a la remediación de problemas producidos por la contaminación” (p. 12):

“La **fitoextracción** consiste en el empleo de plantas hiperacumuladoras, capaces de extraer los metales pesados contenidos en el suelo”.

Ventajas: La planta debe ser capaz de producir biomasa abundante en poco tiempo.

Limitaciones: Las hiperacumuladoras de metales suelen ser de crecimiento lento, poco bioproductivas y con sistema radicular somero. La biomasa producida hay que almacenarla o procesarla adecuadamente (Ríos, 2005, p. 13).

Ramón, (2012) menciona que:

“La **fitoestabilización** consiste en el uso de plantas metalófitas endémicas/nativas y de mejoradores de sustrato adecuados para estabilizar física y químicamente sustratos ricos en metales”.

Ventajas: Hace innecesaria la excavación / eliminación del suelo, es menos costosa y menos agresiva. Mejora las posibilidades de restauración del ecosistema.

Limitaciones: A menudo requiere fertilización o modificación del suelo. Requiere mantenimiento del suelo a largo plazo, para evitar la formación de lixiviados (p. 15).

“La **fitovolatilización** consiste en la extracción del contaminante del suelo por la planta y su emisión a la atmósfera a través de su sistema metabólico”.

Ventajas: Transforma los contaminantes en formas menos tóxicas.

Limitaciones: El contaminante o un derivado tóxico pueden acumularse en la vegetación, pasando a frutos o partes comestibles (p. 15).

La **fitofiltración / rizofiltración** consiste en el uso de plantas terrestres y acuáticas para absorber, concentrar, y precipitar contaminantes de medios acuáticos.

Ventajas: Puede ser “in situ” o “ex situ”, y es aplicable tanto en sistemas terrestres como acuáticos.

Limitaciones: El pH del medio debe controlarse en continuo para optimizar la captación del metal. Es necesario controlar procesos de especiación e interacciones entre especies que puedan darse en el medio. Funciona como un biorreactor, y requiere mantenimiento intensivo (p. 15).

#### 4.1.5.2.2. *Las técnicas de remediación in situ de carácter físico-químico.*

Según Ríos, (2005) menciona que:

**La atenuación natural controlada.-** Se basa en el aprovechamiento y potenciación los procesos naturales para eliminar o reducir la contaminación en los suelos y las aguas subterráneas. La atenuación natural tiene lugar en la mayoría de las áreas contaminadas, pero para que se produzca a ritmo suficiente como para que se pueda considerar un mecanismo efectivo de descontaminación deben darse las condiciones adecuadas en el subsuelo para que se produzca la descontaminación de forma efectiva. De no ser así, la eliminación de la contaminación no será ni lo suficientemente rápida ni completa. Los científicos supervisan o verifican la existencia de esas condiciones para asegurarse de que funciona la

atenuación natural. A eso se le denomina atenuación natural controlada o MNA (por sus siglas en inglés). Cuando el medio ambiente se halla contaminado con sustancias químicas, la naturaleza las elimina por cuatro vías: acción bacteriana, sorción, evaporación, mezcla y dilución (p. 15).

**La extracción de vapores del suelo y la aireación del suelo.-** Rincón, (2004) mencionan que: “son dos técnicas diferentes, aunque a menudo complementarias, que se emplean para extraer contaminantes químicos del suelo vaporizándolos. Son complementarias porque la primera se emplea por encima del nivel freático, mientras que la segunda se utiliza por debajo de éste” (p. 79).

La extracción de vapores (SVE) consiste en la perforación de pozos por encima del nivel freático, en los que se genera un vacío, de forma que se bombean los volátiles contenidos en el suelo (contaminantes). Pueden combinarse con pozos de inyección de aire, ya que esto favorece la evaporación de los contaminantes. El número de pozos de inyección y de extracción para un área contaminada puede variar desde uno a cientos, en función de la extensión del problema, y de las características en detalle del área: tipo de suelos, de contaminantes, etc. Los gases que se extraen son recogidos y tratados, de forma que se separan los contaminantes para su tratamiento posterior o almacenamiento en condiciones de mayor seguridad (Rincón, 2004, p. 79, 80).

La inyección de aire (*air sparging*), consiste precisamente en la inyección de aire en el terreno, por debajo del nivel freático. En estas condiciones, la aireación del agua subterránea favorece la vaporización de los contaminantes, que son bombeados a superficie a través de pozos de extracción similares a los de extracción de vapor. La entrada de aire al suelo que suponen estas dos

técnicas favorece, además, el desarrollo de microorganismos bacterianos, que a su vez favorecen la descontaminación a través de la transformación metabólica de los contaminantes en agua y CO<sub>2</sub>. Las instalaciones requeridas para este tipo de tratamiento son económicas y de fácil mantenimiento, lo que hace que sean bastante empleadas (Rincón, 2004, p. 80).

Según Rincón, (2004) afirma que:

**Flushing *in situ*.**- Es una técnica química que se basa en la infiltración en el terreno (desde superficie o pozos de inyección), de compuestos químicos que reaccionan con el contaminante, disolviéndolo. Los productos utilizados son surfactantes (detergentes) y cosolventes (alcoholes), que se mezclan con agua y se ponen en contacto con el contaminante, y se bombean a superficie a través de pozos de extracción. La técnica se ve especialmente favorecida cuando el contaminante se encuentra en un terreno arenoso en contacto con otro arcilloso infrayacente (p. 81).

**Los tratamientos térmicos.**- Son un grupo de técnicas que se basan en la extracción de contaminantes a través de su movilización a altas temperaturas. Los productos químicos así movilizados se desplazan a través del suelo y las aguas subterráneas hasta pozos, donde son captados y bombeados hasta la superficie. Así, este apartado incluye la inyección de vapor, de aire caliente, de agua caliente, el calentamiento mediante resistencia eléctrica, o mediante radiofrecuencia o por conductividad térmica (calentamiento de tubos de acero). En todos los casos, se consigue una movilización del contaminante químico, que se extrae a través de un pozo al efecto. El costo de estas técnicas es

relativamente alto, pero a menudo se muestran muy efectivas, incluso en condiciones muy desfavorables (contaminantes retenidos en terrenos arcillosos) (Rincón, 2004, p. 82).

**La oxidación química.-** Emplea compuestos oxidantes para destruir la contaminación de suelos y aguas subterráneas, transformando ésta en compuestos inocuos, como agua y CO<sub>2</sub>. Esta técnica permite destruir muchos combustibles, solventes, y plaguicidas. La técnica se base simplemente en la introducción en el terreno de los oxidantes, a través de pozos a diversas alturas, sin que sea necesario bombear los productos de la oxidación. No obstante, se observa que se obtiene una mayor efectividad de la técnica si establece un sistema cerrado, reinyectando lo obtenido por el pozo de extracción: con ello se ayuda a que se mezcle mejor el oxidante con los productos que constituyen la contaminación (Rincón, 2004, p. 83).

Rincón, (2004) afirma que:

**La electrodescontaminación.-** Consiste en la movilización de los contaminantes bajo la acción de campos eléctricos. Se basa en la introducción a suficiente profundidad de electrodos en el suelo y la aplicación de una diferencia de potencial. Esto produce un flujo de los contaminantes en medio acuoso siguiendo las líneas del campo eléctrico. En determinados casos puede ser necesario añadir una fase acuosa que permita o facilite el proceso (p. 84).

**La fracturación.-** Se emplea a menudo en combinación con otras de las técnicas descritas, ya que se trata de un procedimiento por el cual se induce una fracturación en suelos o terrenos en general muy compactos, de forma que las

técnicas que se basan en la movilización de los contaminantes pueden actuar mejor. Es una técnica auxiliar, que en unos casos ayuda a introducir los reactivos requeridos para el tratamiento descontaminante, y en otros favorece la migración de los productos del proceso hacia los pozos de extracción, y en general, favorece la liberación de los contaminantes contenidos en el terreno, y su migración a través del mismo. Se basa en dos posibilidades: fracturación hidráulica y fracturación neumática (Rincón, 2004, p. 87).

#### **4.1.5.3. Técnicas de tratamiento ex situ.**

Según Rincón, (2004) establece que:

Consiste en remover el suelo de su lugar original y tratarlo en una planta externa, para la eliminación del contaminante mediante una variedad de técnicas disponibles. Tras el tratamiento, el suelo puede ser devuelto a su lugar original, siempre y cuando se verifique que está completamente descontaminado (p. 89). En este apartado se reconocen las siguientes técnicas:

##### **4.1.5.3.1. Desorción térmica.**

“Basada en el calentamiento del suelo en una unidad de desorción”  
(Rincón, 2004, p. 91).

##### **4.1.5.3.2. Lavado del suelo.**

Basado en el empleo de detergentes y en la separación granulométrica de las fracciones más finas (siempre más contaminadas, por la mayor capacidad de

sorción de las arcillas) de las más gruesas: arena, siempre más limpia, y más fácil de limpiar (Rincón, 2004, p. 91).

#### 4.1.5.3.3. *Extracción con solventes.*

“Basada en el empleo de productos disolventes, que son muy efectivos en determinados contaminantes” (Rincón, 2004, p. 92).

#### 4.1.5.3.4. *Deshalogenación química.*

“Consiste en la eliminación de halógenos del suelo, mediante reactivos específicos” (Rincón, 2004, p. 92).

### **4.1.6. Suelos contaminados.**

El Ministerio del Ambiente de Ecuador (MAE, 2015) en el Acuerdo Ministerial 028 “Sustituyese el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente” Libro VI, Anexo 2 de la Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados menciona que:

Los causantes y/o responsables por acción u omisión de contaminación al recurso suelo, por derrames, vertidos, fugas, almacenamiento o abandono de materiales peligrosos, deben proceder a la reparación de la zona afectada, considerando para el efecto los criterios de remediación de suelos contaminados que se encuentran en la presente norma.

Cuando la Autoridad Ambiental determine que un suelo se encuentre contaminado, la persona natural o jurídica, pública o privada, nacional o extranjera responsable de la contaminación, adoptará los siguientes

procedimientos de informe, el cual será entregado en el término que la Autoridad Ambiental determine y conforme los mecanismos estipulados en el presente Libro (p. 115):

#### **4.1.6.1. Caracterización del área de influencia directa.**

- Ubicación Geográfica del sitio
- Ubicación respecto a zonas aledañas de interés
- Condiciones locales de la zona:
  - Precipitación y/ o riego (frecuencia de la precipitación y riego así como su cantidad)
  - Nivel freático de la zona
  - Escorrentía
  - Ubicación de cuerpos de agua aledaños, pozos para explotación de agua (en uso, clausurados, en proyecto)
  - Condiciones climáticas y dirección del viento
  - Caracterización del suelo:
  - Uso del suelo: residencial, comercial, industrial y agrícola

#### Morfología

- Vegetación presente

#### Textura

- Permeabilidad

- Composición química, física y biológica del suelo

Perfiles estratigráficos del área en estudio (MAE, 2015, p. 115, 116).

#### **4.1.6.2. Determinación del origen de la contaminación.**

- Características de la actividad que da origen a la contaminación:
  - Exploración o explotación del recurso.
  - Procesos Industriales.
  - Centros de almacenamiento o transporte de productos químicos o sustancias peligrosas.
    - Terminal Marítima o Terrestre.
    - Estación de Transferencia, Centro de Transferencia.
    - Ducto, poliducto, líneas de flujo, líneas de transferencia, pozos, plataformas
  - Rellenos sanitarios, botaderos y sistemas de tratamiento de desechos.
  - Otras
- Planos de las instalaciones.
- Estudios previos efectuados al área en evaluación (estudios ambientales, mediciones del nivel freático, composición del suelo del área afectada, entre otros).
- Determinación primaria del contaminante (si el contaminante es materia prima, producto, subproducto o desecho del proceso).
- Localización de las fuentes de contaminación (superficial o subterránea).

- Tiempo transcurrido desde el inicio de la contaminación y de la verificación del mismo (MAE, 2015, p. 116).

#### **4.1.6.3. *Diagnóstico de la contaminación in situ.***

El diagnóstico in situ debe presentar una primera apreciación general de la contaminación del suelo, en términos de severidad, extensión y tiempo, en base a información obtenible de manera simple y rápida. Partiendo de la observación visual detallada, se utilizarán métodos de diagnóstico comunes (geoeléctricos, gasométricos, radiométricos, etc.). Dependiendo de la naturaleza de la contaminación se emplearán otro tipo de métodos descritos en la literatura y aprobados por la entidad ambiental de control (MAE, 2015, p. 116).

#### **4.1.6.4. *Criterios de toma de muestras.***

##### **4.1.6.4.1. *De la toma de muestras en caso de suelos contaminados.***

El número de muestras de suelo a coleccionar dependerá de la extensión y profundidad alcanzada por el contaminante y del tiempo transcurrido desde que se ha producido la contaminación. Se debe tomar un número de muestras no inferior al señalado, cuando el contaminante no haya alcanzado una profundidad mayor a 0,3 m. Las muestras no serán integradas en muestras compuestas sino procesadas individualmente.

Cuando la profundidad de afectación alcance niveles superiores a los 0,3 m, se procederá a tomar adicionalmente muestras del perfil del suelo hasta la profundidad, que incluya la zona saturada y la no saturada. Como un procedimiento de aseguramiento de calidad, se tomará una muestra

testigo, por cada tipo de suelo y con las características del sitio donde se efectuó el muestreo (textura, color, pendiente, cultivo, manejo, etc.).

Para áreas con tipo de suelo homogéneo se tomará una muestra compuesta por hectárea, formada por 15 a 20 submuestras, cada una con un peso no inferior a 0.5 kg tomadas a una profundidad entre 0 a 30 cm, las submuestras serán mezcladas y homogenizadas para obtener una muestra compuesta representativa del suelo, de la cual se tomará un peso de entre 0.5 y 1.0 kg, que servirá para realizar los análisis requeridos. Para ejecutar el muestreo, se trazará una cuadrícula sobre el área del suelo a ser afectada por el proyecto, y dentro de ella se tomarán las submuestras de forma aleatoria hasta completar el número señalado.

En caso de existir diversidad de tipos de suelo, se tomará una muestra compuesta para cada uno de los tipos presentes en el área, de acuerdo a las condiciones antes señaladas. La toma de muestras será efectuada por un laboratorio acreditado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano o el que lo reemplace.

Para proyectos cuya superficie sea menor a 1 ha, las muestras serán simples, y para superficies mayores a 1 ha serán muestras compuestas. Para proyectos con superficies menores a 0.1 ha y mayores a 30 ha aplicará la fórmula siguiente:

$$Y = X0.3* 11.71$$

Dónde:

Y es el número mínimo de puntos de muestreo, y

X es la superficie del suelo de la zona de estudio expresada en hectáreas (MAE, 2015, p. 117).

#### 4.1.6.4.2. *Análisis de muestra.*

“Los análisis físicos, químicos y microbiológicos requeridos, deben ser realizados por laboratorios acreditados, siguiendo las metodologías estipuladas y validadas para cada caso” (MAE, 2015, p. 117).

#### 4.1.6.4.3. *Tipos de muestreo.*

Mason, citado por de la Rosa, Velasco y Volke, (2005) establece que:

**Muestreo a juicio.-** Un muestreo selectivo o a juicio se presenta cuando los elementos son seleccionados mediante un criterio personal y generalmente lo realiza un experto. En zonas heterogéneas de pequeña extensión se pueden escoger puntos con base en diferencias típicas, como cambios notorios en relieve, textura, color superficial, vegetación, etc. En los estudios ambientales, el muestreo selectivo, a menudo, constituye la base de una investigación exploratoria. Sus principales ventajas son la facilidad de realización y sus bajos costos, además de que se puede llevar a cabo en zonas heterogéneas como en zonas homogéneas (p. 39, 40).

Mason, citado por de la Rosa et al. (2005) define que:

**Muestreo aleatorio simple.-** Se emplea en casos en los que se dispone de poca información acerca de las características de la población a medir; se basa en la teoría de probabilidades y siempre requiere de un análisis estadístico. Este tipo de muestreo permite todas las combinaciones

posibles de unidades de muestras a seleccionar. Los puntos de muestreo se ubican en un plano cartesiano  $(X_i, Y_j)$ , en donde cada punto de la población tiene la misma probabilidad de ser seleccionado. El medio más común para minimizar la desviación estándar en esta selección es asignarle un número a cada unidad de población y extraer unidades de muestras de una tabla de números aleatorios (p. 40).

Valencia y Hernández, citado por de la Rosa et al. (2005) mencionan que: “este tipo de muestreo es recomendable para áreas homogéneas menores a cinco hectáreas, delimitadas por referencias visibles a lo largo y ancho de toda la zona” (p. 40).

Mason, citado por de la Rosa et al. (2005) establece que el:

**Muestreo aleatorio estratificado.-** En este tipo de muestreo la población en estudio se subdivide en estratos o subgrupos que tienen cierta homogeneidad en el terreno y en cada estrato se realiza un muestreo aleatorio simple. El requisito principal para aplicar este método de muestreo es el conocimiento previo de información que permita subdividir la población. Por ejemplo, la división se puede realizar con base en la topografía, los horizontes del suelo, la mancha del contaminante, los cambios de color en el suelo, el crecimiento irregular de las plantas, etc. Esto garantiza que los puntos de muestreo se encuentren repartidos más uniformemente en toda la zona, en función al tamaño del estrato y permite además conocer de forma independiente las características particulares de cada estrato. Es recomendable para áreas mayores de diez hectáreas y cuando el terreno no es homogéneo (p. 40, 41).

Mason, citado por de la Rosa et al. (2005) menciona que:

**Muestreo sistemático.-** Es una herramienta que puede utilizarse para reducir la variabilidad de la muestras. Este método consiste en ubicar las muestras en un patrón regular en toda la zona de estudio puede realizarse a partir de un punto determinado al azar, a partir del cual se establece cierta distancia para ubicar los demás puntos (a distancias uniformes entre sí). Este tipo de muestreo puede realizarse por rejilla rectangular o polar (p. 41).

Valencia y Hernández, citado por de la Rosa et al. (2005) mencionan que:

Puede llevarse a cabo en superficies de cualquier tamaño, dado que las muestras pueden ubicarse de acuerdo con las dimensiones y forma del terreno, es decir, la distancia equidistante entre los puntos de muestreo pueden ser de unos centímetros, metros o hasta kilómetros, lo cual depende del tipo de estudio que se esté realizando (p. 42).

#### 4.1.6.4.4. *Muestreo de comprobación de la remediación (MC).*

Tiene como objetivo demostrar que las acciones de remediación implementadas en un suelo contaminado, alcanzaron de forma estadísticamente demostrable, concentraciones menores o iguales a los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo o los niveles de remediación específicos establecidos en base al Estudio de Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente (ERSA), según su guía correspondiente. Los resultados serán incorporados en el Informe de culminación de acciones de remediación que será presentado a la entidad de fiscalización ambiental

correspondiente. Es recomendable que antes de la realización de un Muestreo de comprobación de la Remediación (MC) se realice un muestreo preliminar (muestreo que al no ser obligatorio se realiza bajo criterios de la empresa), con la finalidad de tener un buen margen de seguridad que los resultados del MC sean exitosos (el MC se realiza con laboratorio acreditado y en lo posible con la presencia de la autoridad fiscalizadora). Las experiencias recopiladas de otros países muestran que cuando no se realiza un muestreo preliminar entonces es muy probable que ocurran MC subsecuentes. (Ministerio del Ambiente de Perú, 2014, p. 12).

#### 4.1.6.4.5. *Tipos de muestras.*

Jiménez y Torres, (2006) afirman que:

**Muestras simples.-** Son las muestras recogidas en un punto específico, sitio, período de tiempo corto (típicamente, segundos o minutos). Así, representan una “imagen instantánea” en tiempo y espacio del área de muestreo. Las muestras simples se toman en una localización, profundidad, y tiempo seleccionados (p. 1).

**Muestras compuestas.-** Una muestra compuesta de suelo, es una mezcla de varias submuestras obtenidas a partir de la toma en distintos sitios representativos de un lote con el fin de asegurar una información precisa. Las muestras compuestas pueden ser obtenidas recogiendo varias tomas dentro de un período de tiempo, diferentes profundidades, o en muchos diversos puntos de muestreo (Jiménez y Torres, 2006, p. 1).

## **4.2. Marco Legal**

### **4.2.1. Constitución Política de la República del Ecuador.**

La Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador, (2008) en el Registro Oficial No. 449, del 20 de Octubre. En su sección segunda que trata del “Ambiente Sano”, establece que:

En el Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

En el Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua (p. 24).

En el capítulo séptimo de los “Derechos de la naturaleza” fundamenta que:

En el Art. 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observaran los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda.

En el Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de Indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados.

En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas (p. 52).

#### **4.2.2. Ley de Gestión Ambiental.**

El Honorable Congreso Nacional del Ecuador, (2004) publicada en el Registro Oficial Suplemento No. 418 del 10 de Septiembre establece:

Art. 1.- La presente Ley establece los principios y directrices de política ambiental; determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones en esta materia (p. 1).

Art. 19.- Las obras públicas, privadas o mixtas, y los proyectos de inversión públicos o privados que puedan causar impactos ambientales, serán calificados previamente a su ejecución, por los organismos

descentralizados de control, conforme el Sistema Único de Manejo Ambiental, cuyo principio rector será el precautelatorio (p. 4).

Art. 20.- Para el inicio de toda actividad que suponga riesgo ambiental se deberá contar con la licencia respectiva, otorgada por el Ministerio del ramo.

Art. 21.- Los sistemas de manejo ambiental incluirán estudios de línea base; evaluación del impacto ambiental; evaluación de riesgos; planes de manejo; planes de manejo de riesgo; sistemas de monitoreo; planes de contingencia y mitigación; auditorías ambientales y planes de abandono. Una vez cumplidos estos requisitos y de conformidad con la calificación de los mismos, el Ministerio del ramo podrá otorgar o negar la licencia correspondiente.

Art. 22.- Los sistemas de manejo ambiental en los contratos que requieran estudios de impacto ambiental y en las actividades para las que se hubiere otorgado licencia ambiental, podrán ser evaluados en cualquier momento, a solicitud del Ministerio del ramo o de las personas afectadas.

La evaluación del cumplimiento de los planes de manejo ambiental aprobados se realizará mediante la auditoría ambiental, practicada por consultores previamente calificados por el Ministerio del ramo, a fin de establecer los correctivos que deban hacerse.

Art. 23.- La evaluación del impacto ambiental comprenderá:

a) La estimación de los efectos causados a la población humana, la biodiversidad, el suelo, el aire, el agua, el paisaje y la estructura y función de los ecosistemas presentes en el área previsiblemente afectada;

b) Las condiciones de tranquilidad públicas, tales como: ruido, vibraciones, olores, emisiones luminosas, cambios térmicos y cualquier otro perjuicio ambiental derivado de su ejecución; y,

c) La incidencia que el proyecto, obra o actividad tendrá en los elementos que componen el patrimonio histórico, escénico y cultural.

Art. 24.- En obras de inversión públicas o privadas, las obligaciones que se desprendan del sistema de manejo ambiental, constituirán elementos del correspondiente contrato. La evaluación del impacto ambiental, conforme al reglamento especial será formulada y aprobada, previamente a la expedición de la autorización administrativa emitida por el Ministerio del ramo (p. 5).

#### **4.2.3. Ley de Minería.**

La Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador, publicada en el Registro Oficial Suplemento No. 517 del 29 de enero de 2009 y con su última modificación el 29 de diciembre de 2014 establece que:

En una parte del Art. 16.- La exploración y explotación de los recursos mineros estará basada en una estrategia de sostenibilidad ambiental pública que priorizará la fiscalización, contraloría, regulación y prevención de la contaminación y remediación ambiental, así como el fomento de la participación social y la veeduría ciudadana (p. 9, 10).

Art. ...- Capacidad de producción bajo el régimen de pequeña minería.- En dependencia del grado de concentración de los minerales en los yacimientos y en función de la forma como se encuentre distribuida la

mineralización, así como de los métodos de explotación y/o procesamiento técnicamente seleccionados para su aprovechamiento racional, se establecen las siguientes rangos de producción para cada operador: a) Para minerales metálicos: hasta 300 toneladas por día en minería subterránea; hasta 1000 toneladas por día en minería a cielo abierto; y, hasta 1500 metros cúbicos por día en minería aluvial (...) (p. 65).

Art. ...- Prohibición del uso del mercurio en operaciones mineras.- Sin perjuicio de la aplicación de la normativa minero ambiental, se prohíbe el uso del mercurio en el país en actividades mineras, de acuerdo a los mecanismos que la autoridad ambiental nacional establezca para el efecto, en conjunto con las instituciones con potestad legal sobre la materia.

La inobservancia a esta prohibición será sancionada con la revocatoria del derecho minero, sin perjuicio de las sanciones de orden penal a las que hubiere lugar (p. 42, 43).

Art. 70.- Resarcimiento de daños y perjuicios.- Los titulares de concesiones y permisos mineros están obligados a ejecutar sus labores con métodos y técnicas que minimicen los daños al suelo, al medio ambiente, al patrimonio natural o cultural, a las concesiones colindantes, a terceros y, en todo caso, a resarcir cualquier daño o perjuicio que causen en la realización de sus trabajos.

La inobservancia de los métodos y técnicas a que se refiere el inciso anterior se considerará como causal de suspensión de las actividades mineras; además de las sanciones correspondientes (p. 36).

Art. 80.- Revegetación y Reforestación.- Si la actividad minera requiere de trabajos a que obliguen al retiro de la capa vegetal y la tala de árboles, será obligación del titular del derecho minero proceder a la revegetación y reforestación de dicha zona preferentemente con especies nativas, conforme lo establecido en la normativa ambiental y al plan de manejo ambiental (p. 40).

#### **4.2.4. Reforma del Libro VI Del Texto Unificado de Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente.**

El MAE, (2015) mediante el Acuerdo Ministerial 061 del 04 de Mayo, Edición Especial No. 316, norma el Sistema Único de Manejo Ambiental donde establece:

Art. 6 Obligaciones Generales.- Toda obra, actividad o proyecto nuevo y toda ampliación o modificación de los mismos que pueda causar impacto ambiental, deberá someterse al Sistema Único de Manejo Ambiental, de acuerdo con lo que establece la legislación aplicable, este Libro y la normativa administrativa y técnica expedida para el efecto.

Toda acción relacionada a la gestión ambiental deberá planificarse y ejecutarse sobre la base de los principios de sustentabilidad, equidad, participación social, representatividad validada, coordinación, precaución, prevención, mitigación y remediación de impactos negativos, corresponsabilidad, solidaridad, cooperación, minimización de desechos, reutilización, reciclaje y aprovechamiento de residuos, conservación de recursos en general, uso de tecnologías limpias, tecnologías alternativas ambientalmente responsables, buenas prácticas ambientales y respeto a

las culturas y prácticas tradicionales y posesiones ancestrales. Igualmente deberán considerarse los impactos ambientales de cualquier producto, industrializados o no, durante su ciclo de vida (p. 10).

Art. 14 De la regularización del proyecto, obra o actividad.- Los proyectos, obras o actividades, constantes en el catálogo expedido por la Autoridad Ambiental Nacional deberán regularizarse a través del SUIA, el que determinará automáticamente el tipo de permiso ambiental pudiendo ser: Registro Ambiental o Licencia Ambiental (p. 12).

En el Título I, Disposiciones Preliminares definen al Plan de Manejo Ambiental como:

Documento que establece en detalle y en orden cronológico las acciones que se requieren ejecutar para prevenir, mitigar, controlar, corregir y compensar los posibles impactos ambientales negativos o acentuar los impactos positivos causados en el desarrollo de una acción propuesta. Por lo general, el Plan de Manejo Ambiental consiste de varios sub-planes, dependiendo de las características de la actividad o proyecto (p. 7).

Art. 32 Del Plan de Manejo Ambiental.- El Plan de Manejo Ambiental consiste de varios sub-planes, dependiendo de las características de la actividad o proyecto.

El Plan de Manejo Ambiental contendrá los siguientes sub planes, con sus respectivos programas, presupuestos, responsables, medios de verificación y cronograma.

a) Plan de Prevención y Mitigación de Impactos;

- b) Plan de Contingencias;
- c) Plan de Capacitación;
- d) Plan de Seguridad y Salud ocupacional;
- e) Plan de Manejo de Desechos;
- f) Plan de Relaciones Comunitarias;
- g) Plan de Rehabilitación de Áreas afectadas;
- h) Plan de Abandono y Entrega del Área;
- i) Plan de Monitoreo y Seguimiento (p. 14).

Art. 33 Del alcance de los estudios ambientales.- Los estudios ambientales deberán cubrir todas las fases del ciclo de vida de un proyecto, obra o actividad, excepto cuando por la naturaleza y características de la actividad y en base de la normativa ambiental se establezcan diferentes fases y dentro de estas, diferentes etapas de ejecución de las mismas (p. 14).

Art. 34 Estudios Ambientales Ex Ante (EslA Ex Ante).- Estudio de Impacto Ambiental.- Son estudios técnicos que proporcionan antecedentes para la predicción e identificación de los impactos ambientales. Además describen las medidas para prevenir, controlar, mitigar y compensar las alteraciones ambientales significativas (p. 14).

Art. 35 Estudios Ambientales Ex Post (EslA Ex Post).- Son estudios ambientales que guardan el mismo fin que los estudios ex ante y que permiten regularizar en términos ambientales la ejecución de una obra o actividad en funcionamiento, de conformidad con lo dispuesto en este instrumento jurídico (p. 14).

Art. 212 Calidad de Suelos.- Para realizar una adecuada caracterización de este componente en los estudios ambientales, así como un adecuado control, se deberán realizar muestreos y monitoreos siguiendo las metodologías establecidas en el Anexo II y demás normativa correspondiente.

La Autoridad Ambiental Competente y las entidades del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental, en el marco de sus competencias, realizarán el control de la calidad del suelo de conformidad con las normas técnicas expedidas para el efecto. Constituyen normas de calidad del suelo, características físico-químicas y biológicas que establecen la composición del suelo y lo hacen aceptable para garantizar el equilibrio ecológico, la salud y el bienestar de la población (p. 47).

Art. 213 Tratamiento de Suelos Contaminados.- Se lo ejecuta por medio de procedimientos validados por la Autoridad Ambiental Competente y acorde a la norma técnica de suelos, de desechos peligrosos y demás normativa aplicable. Los sitios de disposición temporal de suelos contaminados deberán tener medidas preventivas eficientes para evitar la dispersión de los contaminantes al ambiente (p. 47).

#### **4.2.5. Sustituyese el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiental.**

El MAE (2015), mediante el Acuerdo Ministerial 028 del 13 de Febrero, Edición Especial No. 270, en el Anexo 2 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental

del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados establece que:

Se privilegiarán las técnicas de remediación in situ. El traslado de suelos contaminados para tratamiento y/o disposición ex situ sólo será posible en casos especiales, debidamente justificados ante la Autoridad Ambiental de Control, quien autorizará expresamente su ejecución (p. 118).

Se utilizará la siguiente tabla para establecer los límites para la remediación de suelos contaminados (p. 119, 120, 121).

**Tabla 1. Criterios de Remediación (Valores Máximos Permisibles).**

Parámetro	*Unidades	USO DEL SUELO			
		Residencial	Comercial	Industrial	Agrícola
<b>Parámetros Generales</b>					
Conductividad	uS/mm	200	400	400	200
Ph	-	6a8	6a8	6a8	6a8
Relación de adsorción de Sodio (índice SAR)	-	5	12	12	5
<b>Parámetros inorgánicos</b>					
Arsénico (inorgánico)	mg/kg	12	12	12	12
Sulfuro	mg/kg	-	-	-	500
Bario	mg/kg	500	2000	2000	750
Boro (soluble en agua caliente)	mg/kg	-	-	-	2
Cadmio	mg/kg	4	10	10	2
Cobalto	mg/kg	50	300	300	40
Cobre	mg/kg	63	91	91	63
Cromo Total	mg/kg	64	87	87	65
Cromo VI	mg/kg	0.4	1.4	1.4	0.4
Cianuro (libre)	mg/kg	0.9	8	8	0.9
Estaño	mg/kg	50	300	300	5
Fluoruros	mg/kg	400	2000	2000	200
Mercurio	mg/kg	1	10	10	0.8
Molibdeno	mg/kg	5	40	40	5

Níquel	mg/kg	100	100	50	50
Plomo	mg/kg	140	150	150	60
Setenio	mg/kg	5	10	10	2
Talio	mg/kg	1	1	1	1
Vanadio	mg/kg	130	130	130	130
Zinc	mg/kg	200	380	360	200

---

**Parámetros orgánicos**


---

Aceites y grasas	mg/kg	500	<2500	<4000	<4000
Benceno	mg/kg	0.08	5	5	0.03
Etilbenceno	mg/kg	0.1	20	20	0.1
Estireno	mg/kg	5	50	50	0.1
Tolueno	mg/kg	0.37	0.8	0.8	0.08
Xileno	mg/kg	2.4	11	20	0.1
PCBs	mg/kg	1.3	33	33	0.5
Clorofenoles (cada tipo)	mg/kg	0.5	5	5	0.05
Fenoles (total)	mg/kg	3.8	3.8	5	3.8
Clorinados alifáticos (cada tipo)	mg/kg	5	50	50	0.1
Hidrocarburos totales (TPH)	mg/kg	230	620	620	150
Clorobencenos (cada tipo)	mg/kg	2	10	10	0.05
Tetracloroetilenos	mg/kg	0.2	0.5	0.6	0.1
Tricloroetileno	mg/kg	3	30	30	0.1
Atrazina	mg/kg	0.005	0.005	0.005	0.005
Carbofuran	mg/kg	0.01	0.01	0.01	0.01
Alifáticos no clorinados (cada tipo)	mg/kg	-	-	-	0.3

---

**Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs)**


---

Antraceno	mg/kg	-	-	100	0.1
Benzo(a)antraceno	mg/kg	1	1	10	0.1
Benzo(a)pireno	mg/kg	0.7	10	0.7	0.1
Benzo(b)fluoranteno	mg/kg	1	0.7	10	0.1
Benzo(k)fluoranteno	mg/kg	1	10	10	0.1
Dibenzo(a,h)antraceno	mg/kg	1	10	10	0.1
Indeno( 1,2,3-cd)pireno	mg/kg	1	10	10	0.1
Fluoranteno;	mg/kg	-	10	100	0.1
Naftaleno;	mg/kg	0.6	-	22	0.1
Pireno;	mg/kg	10	22	100	0.1

Criseno;	mg/kg	-	-	100	0.1
Fenan treno;	mg/kg	5	50	50	0.1
<b>Pesticidas organoclorados</b>					
Alfa BCH	mg/Kg	0.01	0.01	0.01	0.01
Beta BCH	mg/Kg	0.01	0.01	0.01	0.01
*Gamma BCH	mg/Kg	0.01	0.01	0.01	0.01
Delta BCH	mg/Kg	0.01	0.01	0.01	NA
Heptacloro	mg/Kg	0.01	0.01	0.01	0.01
Aldrin	mg/Kg	0.1	0.1	0.1	0.1
Heptacloro epoxido isómero B	mg/Kg	0.1	0.01	1	0.01
Endosulfan I	mg/Kg	0.1	0.1	0.1	0.1
4,4 DDE	mg/Kg	0.1	0.1	0.1	0.1
4,4 DDD	mg/Kg	0.1	0.1	0.1	0.1
4,4 DDT	mg/Kg	0.1	0.1	0.1	0.1
Dieldrin	mg/Kg	0.1	0.1	0.1	0.1
Endrin	mg/Kg	0.01	0.01	0.01	0.01
Endosulfan II	mg/Kg	0.1	0.1	0.1	0.1
Endrin aldehído	mg/Kg	0.01	0.01	0.01	0.01
Endosulfan sulfato	mg/Kg	0.1	0.1	0.1	0.1

**Fuente:** Ministerio del Ambiente de Ecuador 2015, Acuerdo Ministerial 028.

#### **4.2.6. Reformar el Título I y IV del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.**

El MAE, (2014) mediante el Acuerdo Ministerial 006 del 18 de Febrero, en lo que respecta a los proyectos de Categoría IV, dentro del Plan de Manejo Ambiental (PMA) se establece que:

El Plan de Rehabilitación de Áreas Afectadas comprende las medidas, estrategias y tecnologías a aplicarse en el proyecto para rehabilitar las áreas afectadas (re-establecer cobertura vegetal, garantizar estabilidad y duración de las obras, etc.) (p. 151).

### **4.3. Estudios realizados en contaminación del suelo y pastos con mercurio y plomo**

#### **4.3.1. Evaluación del contenido de mercurio en suelos y lechos de quebradas en la zona minera de Miraflores, Quinchía, Colombia.**

En el estudio realizado por Arias, Camargo, y Muñoz, (2014) menciona que:

En Miraflores, municipio de Quinchía, se ha realizado minería aurífera, donde se evaluó el contenido de mercurio (Hg) utilizando el muestreo sistemático estratificado, siendo los estratos los lechos de quebradas, los montajes y una zona control fuera de la influencia de la actividad minera. Este diseño se definió teniendo en cuenta la imposibilidad de controlar los factores asociados con el manejo de la minería y sus efectos, con muestreos en suelos localizados en sitios bien diferenciados (lechos, montajes y control) definidos como estratos.

Para la extracción de las muestras de suelo en todos los casos se utilizó un barreno de golpe. En los lechos la profundidad de muestreo fue estratificada hasta 50 cm, y en algunos casos a mayor profundidad, tomando muestras en el centro del cauce y en ambos extremos (orillas). En los muestreos se tuvieron en cuenta tanto montajes activos como inactivos, para lo cual se tomaron muestras entre 0 a 25 cm y 25 a 50 cm de profundidad. En las zonas control, de igual manera, se tomaron muestras entre 0 y 25 cm y 25 y 50 cm; los sitios se ubicaron en el área aledaña a los montajes, pero fuera de su influencia. Las muestras de suelo para

análisis de Hg fueron empacadas en recipientes de boca ancha con tapa, se aislaron en bolsas selladas y rotuladas con el punto de muestreo y el estrato.

Como resultado el promedio de Hg en el suelo para la zona de estudio fue de  $7.1 \pm 6.2$  mg/kg entre 0 y -25 cm y de  $8.9 \pm 7.9$  mg/kg entre 25 y 50 cm de profundidad, con un valor mínimo de 0.11 mg/kg y máximo de 36.9 mg/kg. Los valores promedio más altos se presentaron en los montajes (9.7 mg/kg) y los más bajos en los sitios de control (0.4 mg/kg). Los valores de Hg fueron siempre más altos a través de la profundidad en el suelo entre 25 y 50 cm, lo que indica una posible acumulación a mayor profundidad (p. 1-5).

#### **4.3.2. Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera.**

Según Campos, Lebgue, Puga, Quintana, y Sosa, (2006) mencionan que:

El objetivo del estudio fue evaluar la contaminación en el suelo por Plomo, Cadmio, Cinc y Arsénico a diferentes distancias y niveles de profundidad y determinar su relación con características físico-químicas. El área se encuentra en San Francisco del Oro, Chihuahua, en el área de influencia de la presa de Jales la cual es un área de confinamiento de los desechos de la industria minera, abarcó 3 km lineales en dirección de vientos dominantes a partir de la fuente de contaminación. Se extrajeron 30 muestras de suelo para análisis de concentraciones de metales y de características físico-químicas a tres diferentes profundidades: 0-40, 40-60 y 60-80 cm en 10 sitios la distancia entre sitios fue de 300 m. La

concentración de metales se evaluó utilizando la técnica plasma de acoplamiento inductivo, las muestras con pequeñas concentraciones se leyeron mediante absorción atómica. El análisis estadístico fue modelos de regresión entre características físico-químicas, distancias, profundidades y concentraciones de metales pesados. Con respecto al Pb en los sitios ubicados dentro de los 1500 m de distancia a los jales, presentan valores arriba de las 1000 ppm en la parte superficial. En el sitio uno se encontró concentraciones elevadas de Pb en la profundidad de 60-80 cm con 4720 ppm seguida de la profundidad 40-60 cm con 3000 ppm. Se observa que el plomo en lugares cercanos a los jales tiene una concentración mayor a más profundidad y en el resto de los sitios tiende a ir disminuyendo conforme se va alejando de la fuente de origen. Todos los elementos sobrepasan los rangos establecidos por las agencias internacionales (p. 1-5).

#### **4.3.3. Rehabilitación de suelos contaminados con mercurio: estrategias aplicables en el área de Almadén.**

Según Carpena et al. (2007) mencionan que:

Los metales pesados están presentes en el suelo como componentes naturales del mismo o como consecuencia de la actividad del hombre. Entre los impactos más graves que sufre el suelo se puede destacar la contaminación por metales pesados, por su lenta y difícil restauración. Uno de los metales pesados más tóxicos que se conocen es el mercurio, considerado un contaminante a escala global. Castre, Cloirec y Desauziers, citado por Carpena et al. (2007) donde mencionan que una

vez depositado en el suelo, el mercurio es retenido por la materia orgánica y por los minerales de arcilla, a la vez Carpena et al. (2007) indican que los minerales de arcilla juegan un papel muy importante en la inmovilización del mercurio, especialmente en los suelos neutros y/o pobres en materia orgánica y la movilidad de Hg aumentará al disminuir el pH. También menciona que el Hg se encuentra fuertemente unido a los constituyentes del suelo como consecuencia de su afinidad por los grupos funcionales que contienen azufre y que se encuentran en las moléculas orgánicas de los horizontes superiores del suelo, ricos en materia orgánica. Los enlaces fuertes dan como resultado baja disponibilidad y movilidad del Hg en el suelo. Las especies vegetales tolerantes a los metales pesados y acumuladoras pueden explotarse para la recuperación de suelos contaminados antrópicamente con metales pesados, siempre y cuando sea posible la identificación de las especies vegetales adecuadas y si éstas producen cantidades suficientes de biomasa (p. 2, 3).

#### **4.3.4. Presencia de metales pesados en hatos lecheros de los municipios de San Pedro y Entrerriós, Antioquia, Colombia.**

En el estudio realizado por Londoño, (2014) menciona que:

Los contenidos de plomo en los suelos son relativamente bajos y su absorción por las plantas es relativamente baja, salvo que los suelos estén contaminados. Las principales fuentes de contaminación del ambiente son las gasolinas con plomo, pinturas, alimentos procedentes de áreas contaminadas, baterías de automóviles, otros; lo que puede representar una vía importante de entrada en la cadena alimenticia al ser absorbidos

por las plantas y éstas posteriormente consumidas por los animales. La Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades, citada por Londoño (2014) dice que, el plomo una vez depositado en el suelo, queda su mayor parte retenido la capa superficial, especialmente en suelos con un contenido de materia orgánica superior al 5% y un pH superior a 5, también el Pb no se lixivia fácilmente hacia las capas profundas del subsuelo y hacia el agua subterránea, excepto en medios muy ácidos; en aguas naturales superficiales y subterráneas la concentración de plomo es baja. Además según Dugast, citado por Londoño (2014) menciona que, el plomo puede absorberse fuertemente en el suelo y sedimentos, especialmente arcillas, limos y óxidos de hierro y manganeso. La biodisponibilidad del plomo para las plantas se ve dificultada por la absorción de este metal en la matriz del suelo, pero aumenta a medida que disminuye el pH y el contenido de materia orgánica en el suelo.

Bowen, citado por Londoño (2014) indica que:

Teniendo en cuenta la concentración de metales en los suelos, los metales más abundantes son Mn, Cr, Zn, Ni y Pb con cantidades que pueden alcanzar hasta 1500 ppm (mg/kg), si bien el Mn puede llegar a 10.000 ppm. En menores concentraciones se encuentran el Co, Cu y As que van desde 0,1 hasta 250 ppm y en mínimas concentraciones están el Cd y Hg, cuyas concentraciones van de 0,01 hasta 2 ppm; también dice que la acumulación de los metales pesados tiene lugar en la parte biológicamente más activa del suelo, de modo que los metales pueden ser fácilmente accesibles para los cultivos. A la vez Chang et al., citado por Londoño

(2014) indican que los pastos contienen niveles bajos cuando es menor a 0.1 mg/kg de Hg. También se hace mención que el uso de fungicidas que contienen mercurio pueden elevar los niveles hasta en 20 mg/kg materia seca en los pastos, cereales y otros vegetales provocando toxicidad en el ganado vacuno; los resultados de Castro y Monroy, citado por Londoño (2014) reportaron contenidos <5 mg/kg de Pb, y que además estos niveles pueden disminuir por la fotosíntesis y el crecimiento de la planta (p. 36, 45, 47, 94, 104, 106).

## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1. Materiales**

#### **5.1.1. Transporte y movilización.**

- Vehículo
- Alimentación

#### **5.1.2. Materiales y equipos de oficina.**

- Computador
- Impresora
- Hojas para impresión
- Anillado y empastado
- Otros

#### **5.1.3. Materiales y equipos de campo.**

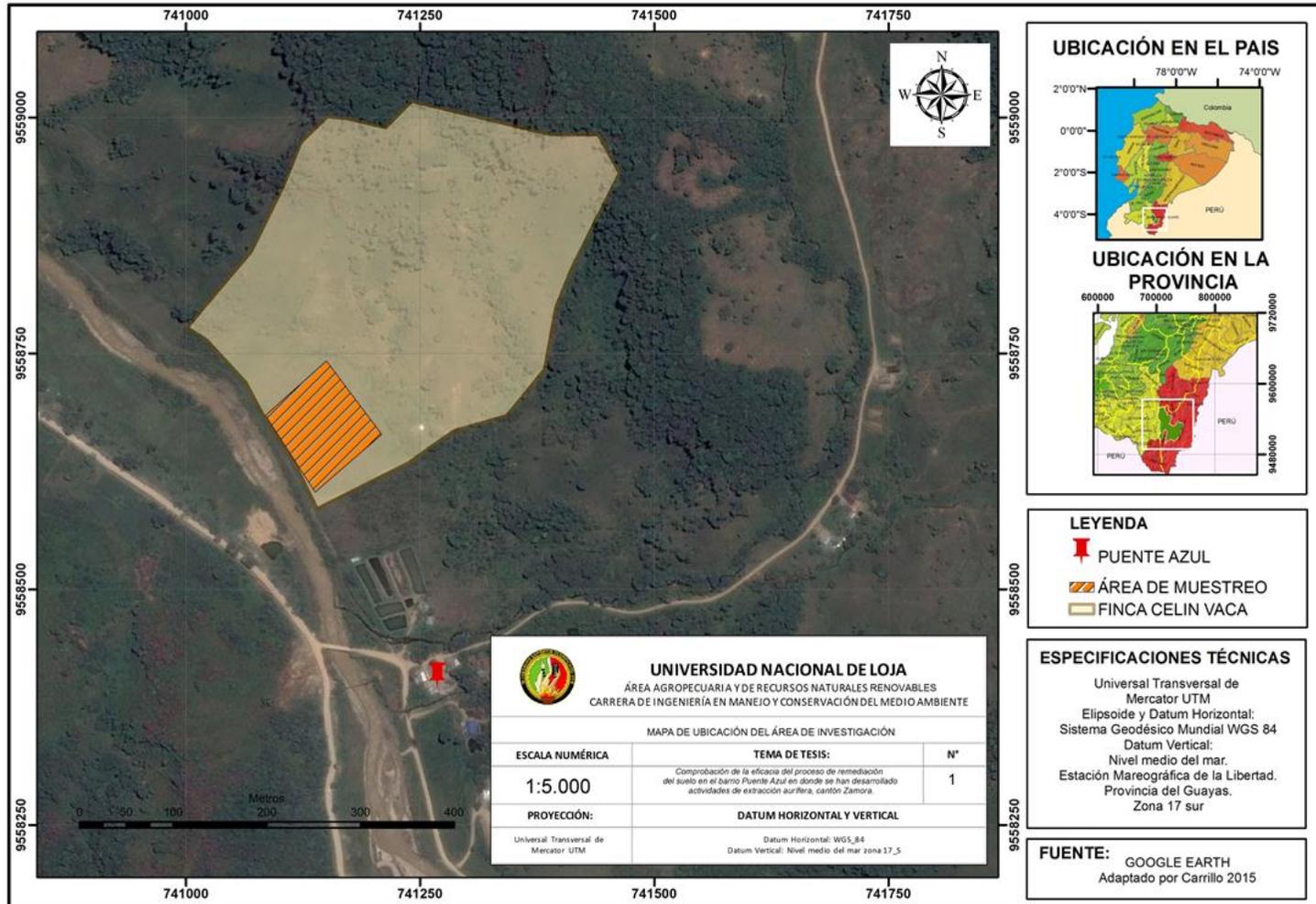
- Palas
- Barretas
- Cooler-refrigerante
- Cámara fotográfica
- Balanza digital
- GPS
- Otros

## **5.2. Métodos**

### **5.2.1. Ubicación política y geográfica del área de estudio.**

La investigación se desarrolló en el barrio Puente Azul perteneciente a la parroquia San Carlos de Las Minas del Cantón Zamora, Provincia de Zamora Chinchipe. Está situado en el margen del río Nambija, aproximadamente a unos 4 kilómetros del barrio Namírez Bajo. Está ubicado en las siguientes coordenadas UTM X: 741271, Y: 9558452.

MAPA DE UBICACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN



Mapa 1. Ubicación del área de investigación en el barrio Puente Azul.

Fuente: Google Earth 2015, "Adaptado por el autor".

## 5.2.2. Aspectos biofísicos y climáticos.

### 5.2.2.1. Cobertura vegetal.

#### 5.2.2.1.1. Bosque siempre verde piemontano.

Según Sierra, citado por el Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de San Carlos de las Minas (2012) establece que, “este tipo de cobertura se ubica entre los 800 y 1300 m de altitud, es una franja de vegetación en donde se mezclan especies amazónicas con algunos elementos andinos. El dosel alcanza los 30 m de altura” (p. 20). Algunas especies características de esta franja de vegetación son las siguientes:

**Tabla 2.** Especies de flora del bosque siempre verde piemontano.

FLORA	
Nombre Científico	Nombre Común
<i>Iriartea deltoidea</i> Ruiz & Pav.	Chonta
<i>Oenocarpus bataua</i> Mart.	Chonta
<i>Leonia glycyarpa</i> Ruiz & Pav.	Achojcha
<i>Podocarpus</i> sp. Labill.	Romerillo
<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	Pituca
<i>Ficus máxima</i> Mill.	Guambo
<i>Ocotea</i> sp. AUBL.	Canelón
<i>Artocarpus altilis</i> (Parkinson) Fosberg	Árbol de pan
<i>Vismia confertiflora</i> (Spruce ex Reichardt Fl. Bras. 12(1): 205 1878)	Achotillo
<i>Pouteria caimito</i> (Ruiz & Pav.) Radlk.	Yarazo
<i>Inga edulis</i> Mart.	Guabo
<i>Platymiscium pinnatum</i> (Jacq.) Dugand	Caoba
<i>Platymiscium</i> sp. Vogel	Almendo
<i>Sapium marmieri</i> Huber	Higuerón
<i>Dacryodes occidentalis</i> Cuatrec.	Copal
<i>Dendropanax macropodus</i> Harms	Platanillo
<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire, Steyer. & Frodin	Platanillo

**Fuente:** Sierra 1999, adaptado por el GAD Parroquial de San Carlos de las Minas 2012.

### 5.2.2.2. Fauna.

Debido a la ubicación de la parroquia San Carlos en el ecotono (sitio de transición) de Los Andes y la Amazonía, la riqueza en fauna es significativa, a continuación se describen algunos elementos característicos de los grupos faunísticos más representativos del sitio, como lo son las aves y los mamíferos. (GAD Parroquial de San Carlos de las Minas, 2012, p. 25, 26, 28).

**Tabla 3.** *Especies de aves y mamíferos.*

<b>AVES</b>	
<b>Nombre Científico</b>	<b>Nombre Común</b>
<i>Cathartes aura</i> Linnaeus	Gallinazo Cabecirrojo
<i>Elanoides forficatus</i> Linnaeus	Elanio Tijereta
<i>Penelope barbata</i> Chapman	Pava Barbada
<i>Pyrrhura albipectus</i> Chapman	Perico Pechiblanco
<i>Wilsonia canadensis</i> Linneo	Reinita Collareja
<i>Dendroica fusca</i> Müller	Reinita Pechinaranja
<b>MAMÍFEROS</b>	
<i>Leopardus tigrinus</i> Schreber	Tigrillo Chico Manchado
<i>Cuniculus paca</i> Linnaeus	Guanta
<i>Dasyprocta fuliginosa</i> Wagler	Guatusa
<i>Sylvilagus brasiliensis</i> Linnaeus	Conejo Silvestre
<i>Puma concolor</i> Linnaeus	Puma
<i>Tremarctos ornatus</i> Cuvier	Oso de Anteojos
<i>Potos flavus</i> Schreber	Cusumbo
<i>Mazama americana</i> Erxleben	Venado Colorado

**Fuente:** GAD Parroquial de San Carlos de las Minas 2012.

### 5.2.2.3. Clima.

El GAD Parroquial de San Carlos de las Minas, (2012) en su Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial establece que:

La parroquia cuenta con algunos climas, dependiendo de la ubicación, ya que su topografía es muy irregular, pero de forma general cuenta con un

clima húmedo subtropical cuya temperatura media anual está entre 18 y 22 °C. Los meses de menor temperatura promedio son junio, julio, agosto y septiembre, y los meses de mayor temperatura son: octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo.

La temporada de lluvia está presente durante casi todo el año, con un descenso en los meses de julio y agosto, esporádicamente existen veranillos durante estos meses, que puede llegar inclusive hasta el mes de diciembre (p. 17, 18).

#### *5.2.2.3.1. Muy Húmedo Subtropical (M H St).*

La región se encuentra entre altitudes de 250 y 1800 msnm. La temperatura media anual oscila entre 18 y 22 °C., recibiendo una precipitación promedio anual entre 2000 y 3000 mm. El número de meses ecológicamente secos varía entonces de 1 a 5, dentro de este período, el número de días fisiológicamente secos oscila entre 10 y 68. Este bioclima se encuentra en la parte este de la parroquia, incluye las poblaciones de San Andrés, Puente Azul, Cumay, San Miguel y San Antonio de Cumay. (GAD Parroquial de San Carlos de las Minas, 2012, p. 19).

#### **5.2.2.4. Hidrología.**

Según el GAD Parroquial de San Carlos de las Minas (2012), el barrio Puente Azul se ubica a todo lo largo de la cuenca hidrográfica del río Nambija, la cual a su vez forma parte de la gran cuenca del río Zamora, también cuenta con dos sobresalientes quebradas como es la Namacuntza y la Japanza (p. 29).

#### **5.2.2.5. Suelo.**

Maldonado et al., citado por el GAD Parroquial de San Carlos de las Minas (2012) establecen que:

Los suelos de este sector son rojos a pardo amarillentos, arcillosos con alteración muy profunda, con arcilla tipo caolinita y goethita, a veces gibsita. Los suelos tienen un epipedón más claro, en áreas húmedas. Presentan un relieve ondulado y vertientes de fuertes pendientes ( $P > 12\%$ ) y se ubican en una altitud de 1200 a 2800 msnm. Respecto del Régimen de Humedad del Suelo (RHS) se establece que estos suelos son del tipo údico, es decir que los suelos permanecen secos en todo el perfil tres meses consecutivos. Respecto del Régimen de Temperatura del Suelo (RTS) pertenece al grupo de los isohipertérmico, lo que quiere decir que la temperatura media anual del suelo es  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  o mayor. Presentan texturas arcillosas, arcillo-limosas o limosas; a veces horizonte superficial orgánico fibroso (epipedón hístico); pH ácido y baja fertilidad natural (p. 31, 32).

#### **5.2.2.6. Geología.**

Egüez, citado por el GAD Parroquial de San Carlos de las Minas (2012) menciona que:

La zona correspondiente a la parroquia está constituida de forma general por rocas volcanoclásticas, tobas y brechas de bajo buzamiento enclavadas en el Batolito de Zamora, el cual se presume tiene su origen en la edad Jurásica. Por la variedad litológica, en la actualidad el Batolito de Zamora se denomina como Complejo Intrusivo Zamora (p. 32).

### 5.2.3. Tipo de investigación.

Esta investigación es de tipo cuantitativo y alcance correlacional, debido a que los aspectos de su proceso y obtención de resultados se enfocan principalmente en el uso y recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico.

**5.2.4. Metodología para el primer objetivo específico. Verificar en campo el proceso de remediación del suelo en áreas del barrio Puente Azul en donde se han realizado actividades de extracción aurífera.**

#### 5.2.4.1. *Visita al MAE.*

Se realizó una entrevista al Ing. José Luis Toro coordinador de la Unidad de Calidad Ambiental del MAE, Dirección Provincial de Zamora Chinchipe para conocer su opinión respecto a la remediación de suelos intervenidos por actividades de pequeña minería aurífera (ver anexo 1).



**Foto 1.** *Entrevista al coordinador de la Unidad de Calidad Ambiental del Ministerio del Ambiente.*

#### **5.2.4.2. Diagnóstico en campo.**

Mediante la herramienta “lista de chequeo” me permitió obtener información de lo que se investigó con respecto al proceso de remediación del área donde se ha desarrollado actividad extractiva aurífera. La aplicación de la herramienta se la realizó a la Compañía Constructora y Minera Chamba & Mendieta, Asoc. Ltda., mediante la intervención de su administrador el Sr. Wilfrido Chamba conector del proceso de remediación del suelo que realizan en el barrio Puente Azul, y a la vez se constató con observaciones directas en el campo (ver anexo 2).



**Foto 2.** *Aplicación de la lista de chequeo en campo a la Compañía Constructora y Minera Chamba & Mendieta, Asoc. Ltda.*

#### **5.2.4.3. Caracterización del área de influencia directa.**

La caracterización del área se lo realizó tomando en consideración la ubicación geográfica del sitio y zonas aledañas, condiciones locales y caracterización del suelo (ver anexo 3).

#### **5.2.4.4. Establecer el ciclo del proceso de extracción minera.**

Para conocer el proceso de extracción minera aurífera y poder elaborar el ciclo se necesitó realizar:

##### **5.2.4.4.1. Entrevista al administrador de la compañía minera.**

Se realizó una entrevista al administrador encargado del control y ejecución del proceso de extracción minera aurífera (ver anexo 4).

##### **5.2.4.4.2. Visita de campo y registro fotográfico.**

Se procedió a realizar la visita de campo necesaria para visualizar y constatar cada una de las actividades que se realiza en la extracción minera acompañada de la toma de fotografías.



**Foto 3.** Observación en campo y toma de datos que fortalecen la investigación.

**5.2.5. Metodología para el segundo objetivo específico. Conocer el nivel de remediación del suelo contaminado por mercurio y plomo a distintas profundidades en el barrio Puente Azul donde se han realizado actividades de extracción aurífera.**

**5.2.5.1. Selección del área a muestrear.**

Para la selección del área se basó en los siguientes criterios de selección:

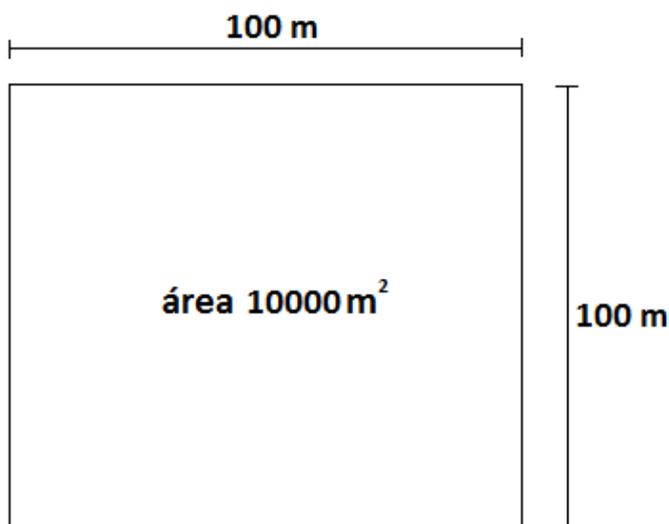
- Que el área haya sido intervenida por la actividad minera aurífera.
- Haya sido remediada una vez culminado el proceso extractivo.
- Acceso al área y facilidad de obtener la información mediante la investigación.
- Tenga el área sembrado algún tipo de pasto como acción a remediar el área intervenida por la actividad minera.

**5.2.5.2. Tipo de muestreo.**

Se utilizó el muestreo aleatorio simple, tomando en cuenta que el área es homogénea y menor a cinco hectáreas (de la Rosa y otros 2005), donde además se tomó en consideración el Acuerdo Ministerial 028 del 13 de febrero de 2015 del Ministerio del Ambiente de Ecuador en lo que respecta a suelos contaminados.

**5.2.5.3. Área de muestreo.**

El área que se muestreó es de 10000 m<sup>2</sup> (100 x 100 m) y tuvo la forma regular de un cuadrado (ver figura 1).



**Figura 1.** Área de muestreo.

#### **5.2.5.4. Parámetros a analizar.**

Los parámetros que se consideró en el análisis son los metales pesados mercurio (Hg) y el plomo (Pb) por la actividad extractiva aurífera; y físico-químicos como textura, pH, materia orgánica y conductividad.

#### **5.2.5.5. Tipo y número de muestra a tomar.**

Mediante un diseño simple al azar primero se trazó una cuadrícula extendida sobre el área de muestreo, las líneas de la cuadrícula se las distribuyeron cada 5 metros homogéneamente de tal forma que los nudos se los enumeró para así mediante un sorteo se determinó los puntos de muestreo. Se consideró tres muestras.

Además se tomó una muestra testigo cerca al área de estudio donde no ha sido intervenido por actividades mineras auríferas, las muestras fueron puntuales simples.

**5.2.5.6. Profundidad de muestras a tomar.**

Se las obtuvo a diferentes niveles de profundidad: 50, 100 y 150 cm.

**5.2.5.7. Cantidad de muestra a tomar.**

Para cada muestra simple se consideró 1000 gramos de suelo.

**5.2.5.8. Tipo de recipiente.**

Se utilizó fundas ziploc de 22 x 25 cm, las cuales fueron nuevas y perfectamente limpias para el embace de cada muestra.

**5.2.5.9. Recolección de muestras.**

- Antes de proceder a tomar la muestra se limpió el área a muestrear, de malezas, piedras más grandes, hojas en donde se tomaron las muestras necesarias para el estudio. La toma de muestras siempre se realizó utilizando guantes de látex limpios.
  
- Se tuvo cuidado de no pisar el área donde se realizó el muestreo.
  
- Se retiró la vegetación superficial orgánica con una pala.
  
- Las muestras se tomaron de los sitios especificados.
  
- Para extraer las muestras se lo realizó con ayuda de una barreta y pala que facilitó su extracción.



**Foto 4.** *En el área de muestreo retirando la cobertura vegetal.*



**Foto 5.** *Excavando en uno de los puntos de muestreo.*

- El muestreo se efectuó excavando en forma de “V”.
- En cada una de las muestras que se extrajo con la pala, mediante el uso de una espátula se eliminaron las partes laterales.

- Las muestras extraídas se envasaron en las fundas ziploc utilizando una espátula directamente en el lugar de muestreo.



**Foto 6.** Separando manualmente fracciones gruesas como piedras, hiervas, otros.



**Foto 7.** Pesado de muestras en su respectivo recipiente ya etiquetado.

- A las muestras no uniformes en cuanto a su textura, se procedió a separar manualmente la fracción gruesa como piedras, hierbas secas y basura, es decir, elementos que no se consideren suelo; procurando enviar al laboratorio suelo constituido por partículas lo más homogéneas o uniformes posible.
- Cada muestra se documentó detalladamente en una hoja de registro (ver Anexo 5).
- Cada envase con su respectiva muestra se colocó en una hielera (cooler) con hielo durante el resto de los trabajos de muestreo con una temperatura menor a 4 °C para evitar que se alteren sus características físico-químicas.



**Foto 8.** Muestras de suelo colocadas en la hielera (cooler).

#### **5.2.5.10. Etiquetado de muestras.**

Las muestras se rotularon o etiquetaron considerando la siguiente información (ver anexo 6):

- Nombre del sitio
- Código de la muestra
- Fecha del muestreo
- Cantidad en gramos
- Profundidad de la muestra
- Método de muestreo
- Responsable
- Coordenadas UTM

La información adicional sobre el sitio de estudio fue:

- Nombre del sitio
- Número de muestras tomadas
- Fecha del muestreo
- Muestreado por:
- Dueño de la propiedad (finca, campo)
- Nombre de la propiedad
- Mapa
- Ubicación de los puntos (coordenadas)
- Precipitación media anual
- Vegetación y uso de la tierra en el momento del muestreo
- Historia del uso de la tierra
- Condiciones del sitio en el momento del muestreo
- Otras características que se consideren relevantes.

#### **5.2.5.11. Cadena de custodia.**

Se utilizó una cadena de custodia para garantizar la autenticidad, seguridad, preservación e integridad de las muestras de suelo que se obtuvieron inicialmente hasta que fueron entregadas al laboratorio (ver anexo 8).

#### **5.2.5.12. Envío de muestras al laboratorio.**

Las muestras se enviaron al laboratorio químico-analítico ambiental Gruentec Cia. Ltda. de la ciudad de Quito. El tiempo máximo que transcurrió entre la toma de muestras hasta el envío al laboratorio fue de 2 días. El laboratorio está acreditado por el Organismo de Acreditación Ecuatoriano en conformidad con los criterios establecidos en la Norma NTE INEN ISO 17025:2006.

#### **5.2.5.13. Análisis de resultados de laboratorio.**

Con los estudios realizados en el laboratorio y sus respectivos resultados de los parámetros (mercurio, plomo, pH y conductividad), me permitió comparar, analizar e interpretar basándome en la normativa legal vigente del Acuerdo Ministerial 028 en lo que corresponde al TULSMA, Libro 6, anexo II. Tabla 2 “Criterios de Remediación (valores máximos permisibles)” citados en el marco legal del presente estudio. En cuanto al parámetro % de materia orgánica se tomó en consideración la siguiente tabla 4 establecida según Rioja, citada por Pavón Chocano (2003):

**Tabla 4.** Interpretación de materia orgánica.

% Materia orgánica	
< 0,9	Muy bajo
1,0 – 1,9	Bajo
2,0 – 2,5	Normal
2,6 – 3,5	Alto
> 3,6	Muy alto

Fuente: Rioja 2002, citada por Pavón Chocano 2003.

#### 5.2.5.14. Diseño estadístico.

El diseño estadístico empleado en el análisis de las medias o promedios, se lo realizó mediante el Análisis de Varianza (ANOVA) a través del “Modelo en Arreglo Factorial de 3x2”, para lo cual fue necesario el uso del software libre InfoStat versión 16-04-2015.

El proceso se desarrolló mediante el ingreso de los valores promedios individualmente de los parámetros mercurio, plomo, pH, conductividad, y % materia orgánica en el software estadístico, se determinó el factor de correlación, la suma de cuadrados para los factores (total, tratamiento, profundidad y error), grados de libertad, cuadrado medio, razón F y el valor crítico para F.

En la interpretación se estableció estadísticamente si hay o no variabilidad entre tratamientos ( $T_0$ = suelo no remediado o testigo y  $T_1$ = suelo remediado) y profundidades (50, 100 y 150 cm) de cada uno de los parámetros analizados.

**5.2.6. Metodología para el tercer objetivo específico. Evaluar el contenido de mercurio y plomo en pastos sembrados en áreas que han recibido un proceso de remediación.**

De acuerdo al protocolo establecido anteriormente para el muestreo de suelos contaminados de la normativa ambiental vigente del Ecuador, en cada uno de los puntos de muestreo para muestras simples se recolecto plántulas de pasto; tomando en consideración que el muestreo de suelo y pasto se lo realizó en el mismo día, en consecuencia primero se tomó muestras de pasto y luego de suelo.

**5.2.6.1. *Parámetros a analizar.***

Los parámetros que se analizaron son el mercurio (Hg) y plomo (Pb) concentrado en las especies.

**5.2.6.2. *Cantidad de muestra a tomar.***

Se obtuvieron 200 gramos de pasto por cada uno de los puntos.

**5.2.6.3. *Tipo de recipiente.***

Las muestras de pastos recolectadas se las colocó individualmente en fundas ziploc de 22 x 25 cm.

**5.2.6.4. *Recolección de muestras.***

Con una pala y barreta se procedió a excavar alrededor de la especie de pasto, a una profundidad de 50 cm con la finalidad de extraer la planta en su totalidad conjuntamente con su raíz y tratar de no lesionarla.

Se utilizó guantes de látex al momento de adquirir las muestras de pasto, y así en lo posible se evitó que sean alteradas. Posteriormente se las pesó y se las colocó en los envases de recolección.

Finalmente antes de ser enviadas al laboratorio para su análisis, cada envase con su respectiva muestra de pasto se colocó en una hielera (cooler).



**Foto 9.** *Pesado de muestras de pasto en su totalidad.*



**Foto 10.** Colocación de la muestra de pasto en su respectivo envase ya etiquetado.



**Foto 11.** Muestras de pasto colocadas en la hielera (cooler).

Cada muestra de pasto se documentó detalladamente en una hoja de registro (ver Anexo 5).

#### **5.2.6.5. *Etiquetado de muestras.***

Una vez que se recolectó la muestra se realizó el etiquetado en el cual constó de la siguiente información (ver anexo 7):

- Nombre del sitio
- Código de la muestra
- Fecha del muestreo
- Cantidad en gramos
- Tamaño del pasto
- Método de muestreo
- Responsable
- Coordenadas UTM

Se utilizó las mismas pautas a considerar dentro de la información adicional sobre el sitio de estudio que se estableció para muestras de suelo.

#### **5.2.6.6. *Cadena de custodia.***

Se utilizó una cadena de custodia para garantizar la autenticidad, seguridad, preservación e integridad de las muestras de pasto que se obtuvieron inicialmente hasta fueron entregadas al laboratorio (ver anexo 8).

#### **5.2.6.7. *Envío de muestras al laboratorio.***

Las muestras de pasto se enviaron al laboratorio químico-analítico ambiental Gruentec Cia. Ltda. de la ciudad de Quito acreditado por el Organismo

de Acreditación Ecuatoriano. El tiempo máximo que transcurrió entre la toma de muestras hasta el envío al laboratorio fue de 2 días.

#### **5.2.6.8. *Análisis de resultados de laboratorio.***

Con los datos obtenidos por el estudio realizado en el laboratorio, se procedió a comparar, analizar e interpretar la concentración de mercurio y plomo en cada una de las muestras de pastos y se los concertó con otros estudios realizados.

## **6. RESULTADOS**

### **6.1. Verificar en campo el proceso de remediación del suelo en áreas del barrio Puente Azul en donde se han realizado actividades de extracción aurífera**

#### **6.1.1. Visita al MAE.**

Con respecto a la información obtenida en la entrevista realizada al coordinador de la Unidad de Calidad Ambiental del MAE, Dirección Provincial de Zamora Chinchipe se tiene que principalmente los proyectos de pequeña minería se regularizan amparándose en la Ley Minera y la Ley de Gestión Ambiental; en cuanto a la categorización lo realizan actualmente mediante el Acuerdo Ministerial 028.

Los proyectos de pequeña minería (fase de explotación) tienen categorización IV. Los requisitos para la regularización ambiental en lo que respecta a la elaboración y ejecución del proyecto se basa primeramente en tener título minero o resolución de otorgamiento del área por parte del Ministerio de Recursos Naturales No Renovables para licenciar la actividad minera, seguidamente cumplir con la normativa ambiental en lo que corresponde a presentar los términos de referencia, proceso de participación social, el estudio de impacto ambiental y los pagos de tasas por servicios administrativos.

En cuanto al Plan de Rehabilitación de Áreas Afectadas dentro de los Planes de Manejo Ambiental de un proyecto de pequeña minería se tiene que consiste en tratar de dejar el área intervenida casi en sus condiciones de origen,

donde por lo general en la provincia de Zamora Chinchipe lo realizan revegetando.

En lo que respecta al seguimiento o monitoreo al cumplimiento del Plan de Rehabilitación de Áreas Afectadas, el Ministerio del Ambiente mediante controles y seguimientos al proyecto se verifica y compara con el Plan de Manejo Ambiental, y mediante auditorías ambientales donde se establecen las conformidades y a la vez las no conformidades en caso de que no se esté dando un cumplimiento.

El Plan de Rehabilitación de Áreas Afectadas no se cumple a cabalidad en base a lo establecido por la normativa legal vigente, ya que únicamente dentro del plan las medidas que se proponen son de revegetación con pastos; tomando en consideración que como autoridad ambiental en la provincia de Zamora Chinchipe solo tienen la potestad del control y seguimiento de los proyectos de pequeña minería, ya que los estudios ambientales se observan y aprueban en el MAE Quito.

El Ministerio del Ambiente no cuenta con estudios de investigación en lo cual demuestren que los suelos quedan remediados posterior a la ejecución del Plan de Rehabilitación de Áreas Afectadas en los proyectos de pequeña minería.

#### **6.1.2. Diagnóstico en campo.**

El Sr. Wilfrido Chamba administrador de la Compañía Constructora y Minera Chamba & Mendieta, Asoc. Ltda., en cuanto a la remediación de suelos donde se han desarrollado actividades mineras auríferas de preferencia en el barrio Puente Azul, supo manifestar que siempre dan cumplimiento al proceso de

recuperación o remediación del área afectada de acuerdo a lo estipulado por el Ministerio del Ambiente.

Así mismo se determinó que por el respectivo desmantelamiento de la cobertura vegetal en un inicio para extraer el subsuelo con el mineral aurífero es fundamental una vez terminada dicha función volver a dejar el área semejante a sus condiciones de origen, para lo cual proceden a revegetar con pasto *brachiaria brizantha* (A.Rich.) Stapf; en el proceso no introducen especies vegetales exóticas. En las áreas donde se han realizado las actividades mineras no se ha presenciado pérdida de especies ya que en su mayoría son áreas cubiertas con pasto destinadas para la producción ganadera bovina. Es necesario mencionar que no tienen registros donde indiquen la cantidad de áreas recuperadas.

En cuanto a los cambios de las masas de agua y del suelo que se dan para poder realizar la actividad minera no afectan al drenaje o infiltraciones del agua, ya que son previamente canalizadas. Los cambios que se dan en cuanto al suelo, cobertura o topografía son temporales.

No tienen conocimiento ni han comprobado si las especies sembradas en el área con el fin de remediar son eficaces. Se manifestó que el pasto sembrado es de suma importancia para prevenir la erosión o pérdida del suelo; además como se mencionó anteriormente estos pastos son utilizados en el área como alimento para ganado bovino, por lo cual aseguran que no causan ningún daño al ganado, que incluso las personas hacen posteriormente sin duda alguna el consumo de la carne del ganado, leche y demás derivados como el queso y quesillo.

El Ministerio del Ambiente les realiza las respectivas inspecciones en campo para constatar el proceso de remediación que realizan en el área explotada, e incluso quedan conformes.

### 6.1.3. Caracterización del área de influencia directa.

Las principales características donde se desarrolló la investigación se las presenta a continuación:

**Cuadro 1. Caracterización del área de influencia directa.**

<b>CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA</b>	
<b>Ubicación Geográfica del sitio:</b>	
El área utilizada para la investigación se lo realizó en la finca del Sr. Celin Vaca, localizada en el barrio Puente Azul perteneciente a la parroquia San Carlos de Las Minas del Cantón Zamora.	
<b>Ubicación de las zonas aledañas:</b>	
En sus zonas aledañas se encuentran los barrios San Agustín, Namacuntza y San Andrés.	
<b>Condiciones locales de la zona:</b>	
<b>-Precipitación:</b>	<b>-Clima:</b>
Precipitación promedio anual entre 2000 y 3000 mm.	Húmedo subtropical.
<b>-Temperatura del ambiente:</b>	<b>-Ubicación de cuerpos de agua aledaños:</b>
Temperatura media anual de 18 a 22 °C.	Cerca al área de investigación se encuentran cuerpos de agua aledaños como una vertiente S/N, la quebrada Japanza y el río Nambija.
<b>Caracterización del suelo:</b>	
<b>-Uso del suelo:</b>	<b>-Vegetación presente:</b>
Antes de que el área haya sido intervenida por actividades extractivas auríferas ya se las	Los suelos están cubiertos principalmente por pastos como la <i>brachiaria brizantha</i> .

<p>destinaban para el desarrollo de actividades ganaderas bovinas e incluso en la actualidad. En el 2010 las actividades extractivas auríferas realizada en ésta finca se utilizó mercurio en las clasificadoras para un mejor aprovechamiento del mineral.</p>	
<p><b>-Topografía:</b></p> <p>El área es homogénea, es decir semiplana.</p>	

#### **6.1.4. Proceso de extracción minera aurífera.**

##### **6.1.4.1. *Desmantelamiento de la cobertura vegetal y capa arable.***

Esta primera fase para la extracción aurífera a cielo abierto consiste en la remoción y traslado tanto de la cobertura vegetal (hierbas, arbustos y árboles) como su respectiva capa arable (humus o capa superficial), a un lugar determinado (cerca al lugar a explotar) para luego una vez culminado todo el proceso de la extracción del oro utilizarla para la respectiva recuperación del área donde se desarrolló la actividad extractiva aurífera. Para la realización de esta fase se utiliza maquinaria pesada (excavadora), misma que permite una facilidad y rapidez al momento de destruir y retirar la respectiva capa arable y su cobertura vegetal.



**Foto 12.** *Aglomerado de la cobertura vegetal y capa arable desmantelada en el área donde se están desarrollando actividades mineras auríferas.*

#### **6.1.4.2. Extracción del material.**

Una vez culminada la primera fase, se procede a excavar el subsuelo (mantillo y capa intermedia), mismo material que contiene dicho metal distribuido por toda esta capa del subsuelo hasta llegar con los límites de la roca madre. Para esta fase se utiliza por lo general de tres a cuatro máquinas excavadoras, mismas que desempeñan diferentes funciones con el propósito de dar facilidad a obtener el material para su respectivo lavado en las clasificadoras.



**Foto 13.** *Excavación y extracción del subsuelo, cuya profundidad es de aproximadamente 30 metros.*

El material destinado a lavar está encajado hasta una profundidad de treinta metros aproximadamente, donde una máquina excavadora se encarga de ir rompiendo el subsuelo, la otra procede a ubicar el material excavado por la anterior hasta una altura ascendente aproximada de diez metros, la tercera recibe el material de la segunda máquina y lo deposita al pie de las clasificadoras, y finalmente la cuarta máquina excavadora recoge este material y lo coloca en las respectivas tolvas de las clasificadoras para su lavado.

#### **6.1.4.3. Lavado del material.**

El lavado del material lo realizan utilizando una clasificadora “tipo Z”, de tal manera que es necesario de dos personas para el desarrollo de dicha función; una de ellas se encarga de manguerear el material (lavar el material a presión de agua con manguera de 3 pulgadas) que lo colocan en la tolva una de las

máquinas excavadoras y la segunda persona con ayuda de un gancho de metal (1,50 metros) se encarga de retirar las rocas de mayor tamaño.



**Foto 14.** Colocación del material (subsuelo) en la tolva de la clasificadora tipo Z.



**Foto 15.** Lavado del material (subsuelo) a presión de agua.

#### **6.1.4.4. *Liquidación del material procedente de las clasificadoras.***

Una vez de hacer el lavado del material en un lapso promedio de 3 días, se procede a la liquidación de las arenas retenidas en las bayetas, sacos de cabuya y trampillas de la clasificadora, mismas que serán sacudidas y lavadas en grandes tinas.

Las arenas se las llenan en sacos emplastificados para ser trasladadas hasta el lugar donde se encuentran los chanchos (máquina trituradora), que adicionalmente se le agrega panela, lava y carbón activado en vez del mercurio, para así empezar a triturar completamente las arenas en un tiempo determinado de una hora, hay que tomar en consideración que el carbón activado se lo comenzó a utilizar desde el mes de junio del año 2015, el mercurio se lo utilizaba anteriormente para amalgamar, es decir que el mercurio sea capaz de alearse con el oro que se encuentra en las arenas. Una vez que se termina el tiempo de trituración, se sacó las arenas del chanco y se las depositó en baldes plásticos los cuales fueron introducidos completamente en tinas llenas de agua para proceder a dar un revolvimiento circular de la arena con ayuda de las manos de la persona encargada de la liquidación. Por el movimiento de las arenas, las livianas se suspenden en el agua, mientras que las pesadas (arenas con distintos tipos de metales) se quedan en el fondo del balde.

Estas arenas que quedan en el balde, se las colocó en un platón con la finalidad de juntar las porciones de oro con ayuda del carbón activado, misma función que se facilita al dar un movimiento (circulatorio) técnico y eficaz del platón; para así lograr separar completamente el oro de las arenas y metales (plomo, hierro, cobre) que no son interesantes de aprovechamiento. Esta fase de

liquidación al igual que la fundición del oro no las realizan en el área de aprovechamiento o explotación del mineral.

#### **6.1.4.5. Fundición del oro.**

Al separar el oro de otros minerales, se procede a colocarlo en un horno para su respectiva quema por una alta temperatura (aproximada 500 grados centígrados). El oro es quemado hasta que adopta un color amarillo oscuro.

Una vez quemado el oro, se procede a fundirlo en sus respectivos moldes, pero con mayor temperatura (1064,2 grados centígrados) a la que se aplicó para quemarlo.

#### **6.1.4.6. Recuperación del área donde se extrajo el oro.**

La recuperación del área donde se realizó la explotación aurífera minera, la realizan colocando el material lavado (subsuelo) donde se excavo, posteriormente se agregó la capa arable y restos de cobertura vegetal que se desmantelo en la primera fase mediante la utilización de maquinaria pesada (tractor, excavadora, volquetes) para así facilitar el esparcimiento y darle apariencia plana al área que se va a recuperar. Seguidamente se proceden a sembrar especies herbáceas como la brachiaria (*brachiaria brizantha*) e incluso rara vez el maní forrajero (*Arachis pinto*).

Se conoció que años atrás las baterías de la respectiva maquinaria para la explotación minera aurífera en todas sus etapas no eran tratadas de la forma adecuada cuando se terminaba la vida útil, por lo cual quedaban expuestas al aire libre y a la vez el suelo propenso a ser contaminado por el plomo (Pb) que contienen las mencionadas baterías.



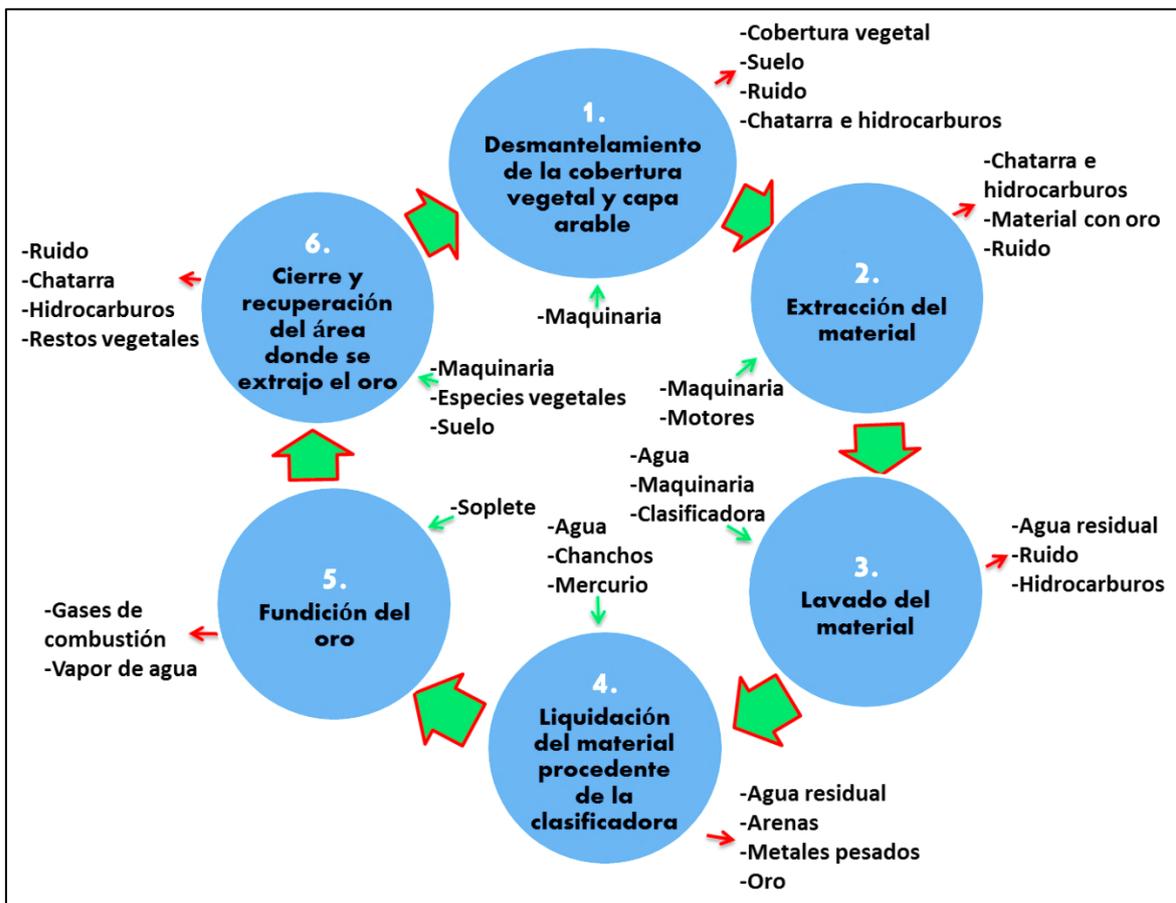
**Foto 16.** *Subsuelo colocado nuevamente en el área donde se realizó la actividad minera aurífera.*



**Foto 17.** *Área revegetada donde se realizaron anteriormente actividades de pequeña minería aurífera.*

### 6.1.5. Ciclo del proyecto (explotación).

En la figura 2 resumidamente se detallan las entradas y salidas que se pudo determinar en cuanto al ciclo de proyecto de extracción minera aurífera. Las entradas hace referencia a todo lo que se utilizó para el desarrollo del proyecto como maquinaria, equipos, combustibles, insumos, recurso natural agua, otros; y las salidas son producto del desarrollo de las distintas actividades como ruido, gases, agua residual, otros.

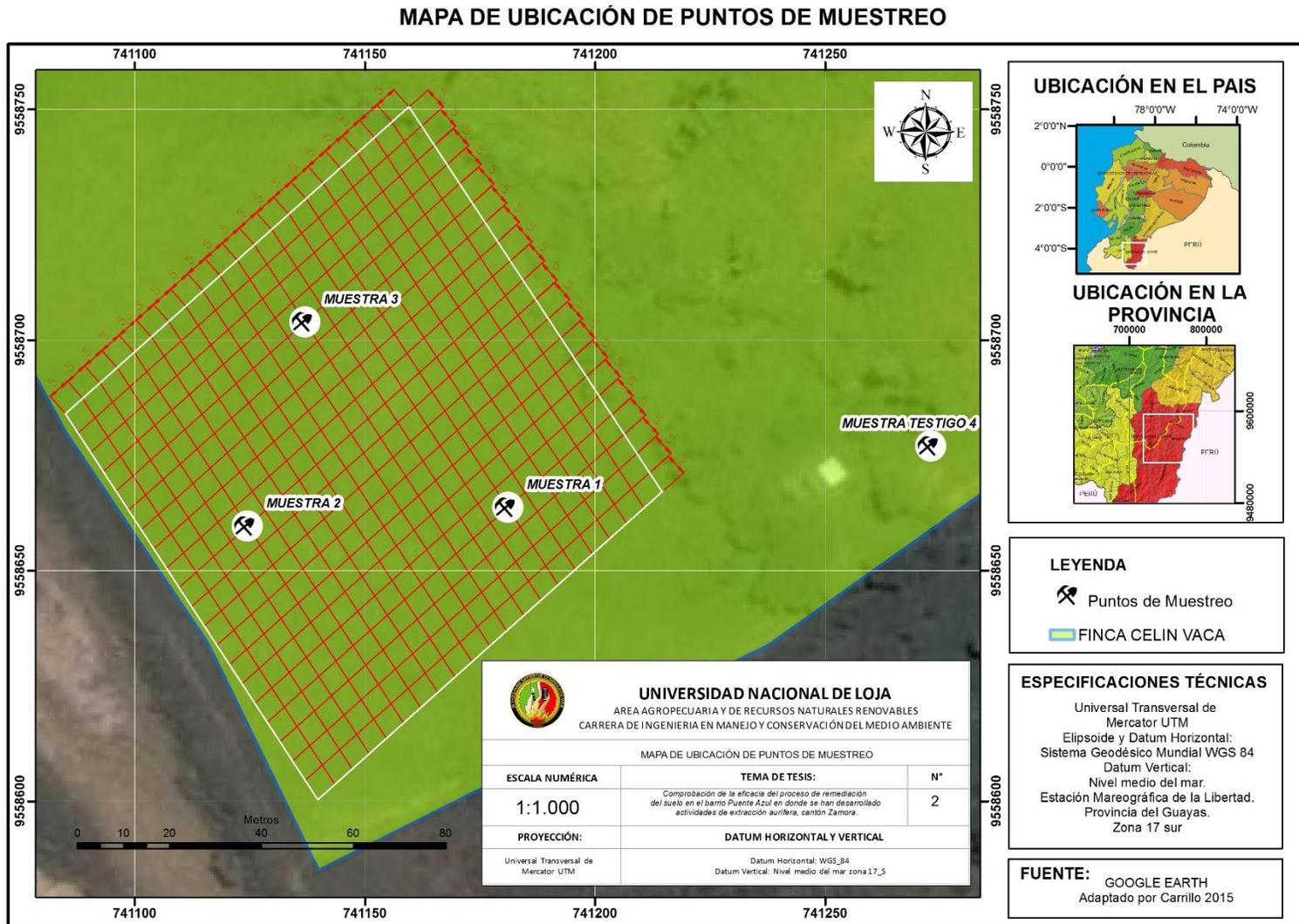


**Figura 2.** Ciclo de vida del proyecto de pequeña minería (explotación).

**6.2. Conocer el nivel de remediación del suelo contaminado por mercurio y plomo a distintas profundidades en el barrio Puente Azul donde se han realizado actividades de extracción aurífera**

**6.2.1. Mapa de ubicación de puntos de muestreo.**

Los puntos de muestreo donde se extrajo las muestras de suelo se detallan a continuación en el siguiente mapa de ubicación:



**Mapa 2.** *Ubicación de puntos de muestreo.*

**Fuente:** Google Earth 2015, “Adaptado por el autor”.

### 6.2.2. Información adicional del sitio de estudio.

La información adicional sobre el sitio de estudio donde se extrajo las muestras de suelo se la sintetiza de forma clara a continuación:

**Cuadro 2.** Información adicional del sitio de estudio.

INFORMACIÓN ADICIONAL DEL SITIO DE ESTUDIO	
<b>Nombre del sitio:</b> Puente Azul.	
<b>Muestreado por:</b> Byron Carrillo.	
<b>Número de muestras tomadas:</b> 4 muestras de suelo (cada una con 3 submuestras a distintas profundidades).	<b>Fecha del muestreo:</b> 19 de mayo de 2015.
<b>Dueño de la propiedad (finca, campo):</b> Sr. Celin Vaca.	<b>Nombre de la propiedad:</b> Finca Celin Vaca.
<b>Mapa (Croquis):</b>	
<p>El croquis muestra un área rectangular sombreada etiquetada como 'Área intervenida por minería aurífera'. Dentro de esta área, se marcan tres puntos con los nombres 'Muestra 1', 'Muestra 2' y 'Muestra 3'. Fuera de esta área, en la parte superior del croquis, se marca un punto con el nombre 'Muestra testigo 4'. A la derecha del croquis, se indica 'Vertiente S/N' con una línea vertical que representa un drenaje. En la parte inferior del croquis, se muestra un río etiquetado como 'Río Nambija' con líneas onduladas que representan las orillas del río.</p>	

<b>Ubicación de los puntos (coordenadas):</b>		
<b>N°</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
1	741179	9558663
2	741125	9558657
3	741135	9558702
4	741273	9558677

<p><b>Precipitación media anual:</b></p> <p>Precipitación promedia anual entre 2000 y 3000 mm.</p>	<p><b>Vegetación y uso de la tierra en el momento del muestreo:</b></p> <p>Los suelos están cubiertos principalmente por pastos como la <i>brachiaria brizantha</i>, los cuales se los utiliza como alimento en la producción ganadera bovina.</p>
<p><b>Historia del uso de la tierra:</b></p> <p>Desde muchos años atrás, antes de ser intervenidas por actividades mineras auríferas estas tierras ya se destinaban a la siembra de pasto para la producción ganadera bovina.</p>	<p><b>Condiciones del sitio en el momento del muestreo:</b></p> <p>Área semiplana con dificultad de drenaje del agua y con respecto al pasto se observó que presentaba enfermedades como la mancha parda. En cuanto al tiempo atmosférico durante la recolección de muestras se presencié temperaturas aproximadamente entre 24 y 32 °C (nublado-soleado), con ausencia de viento y precipitación.</p>
<p><b>Otras características que se consideren relevantes:</b></p> <p>El pasto prestaba mejores condiciones en el lugar donde se tomó la muestra testigo donde no se han realizado actividades mineras en comparación al área donde sí se ha realizado minería.</p>	

### **6.2.3. Cadena de custodia.**

A continuación se muestra la cadena de custodia, la cual garantizó la autenticidad, seguridad, preservación e integridad de las muestras de suelo que se obtuvieron inicialmente hasta que fueron entregadas al laboratorio.





### 6.2.4. Resultado del análisis.

Los resultados del análisis de las muestras de suelo obtenido en el laboratorio de GRUNTEC, se muestran en el siguiente cuadro:

**Cuadro 4. Resultado de análisis de muestras de suelo.**

MUESTRAS DE SUELO													Límite Máximo Permissible de la Tabla 2 TULSMA (Agrícola) y de Rioja.	
MUESTRAS	Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3			Muestra 4 (Testigo To)				
(Código)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
SUBMUESTRAS	50 cm	100 cm	150 cm	50 cm	100 cm	150 cm	50 cm	100 cm	150 cm	50 cm	100 cm	150 cm		
PARÁMETROS	Mercurio mg/kg	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.8
	Plomo mg/kg	6.1	5.4	5.1	7.0	4.1	4.9	5.2	4.4	4.7	3.0	4.2	4.8	60
	pH	5.1	5.1	5.5	6.0	6.3	6.5	5.2	5.5	6.0	5.2	5.2	5.2	6 – 8
	Conductividad us/cm	2.3	6.2	8.4	3.7	3.1	4.2	3.9	3.1	2.2	2.5	1.2	0.9	200
	Materia orgánica %	3.0	0.66	0.26	0.12	0.059	0.017	0.18	0.057	0.076	2.3	1.2	0.58	< 0,9 Muy bajo 1,0-1,9 Bajo 2,0-2,5 Normal 2,6-3,5 Alto > 3,6 Muy alto
	Textura	Franca-Arcillosa	Franca-Arcillosa	Franca-Arcillosa	Arenosa	Arenosa	Arenosa	Franco	Franco	Arenosa	Franca-Arcillosa	Franca-Arcillosa	Franca-Arcillosa	N/A

A continuación en el cuadro 5 se detalla los resultados de las muestras de suelo donde se las agrupo por profundidades y donde se secó la media o promedio en base a cada parámetro analizado:

**Cuadro 5. Resumen de resultado de análisis.**

MUESTRAS DE SUELO															Límite Máximo Permissible de la Tabla 2 TULSMA (Agrícola) y de Rioja.		
(Código)	5	8	11	$\bar{X}$	14 To	6	9	12	$\bar{X}$	15 To	7	10	13	$\bar{X}$		16 To	
SUBMUESTRAS	50 cm	50 cm	50 cm	50 cm	100 cm	100 cm	100 cm	100 cm	100 cm	100 cm	150 cm	150 cm	150 cm	150 cm			
PROFUNDIDAD	50 cm				100 cm				150 cm								
PARÁMETROS	Mercurio mg/kg	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.8
	Plomo mg/kg	6.1	7.0	5.2	6.1	3.0	5.4	4.1	4.4	4.63	4.2	5.1	4.9	4.7	4.9	4.8	60
	pH	5.1	6.0	5.2	5.43	5.2	5.1	6.3	5.5	5.63	5.2	5.5	6.5	6.0	6	5.2	6 – 8
	Conductividad us/cm	2.3	3.7	3.9	3.3	2.5	6.2	3.1	3.1	4.13	1.2	8.4	4.2	2.2	4.93	0.9	200
	Materia orgánica %	3.0	0.12	0.18	1.1	2.3	0.66	0.059	0.057	0.26	1.2	0.26	0.017	0.076	0.12	0.58	< 0,9 Muy bajo 1,0-1,9 Bajo 2,0-2,5 Normal 2,6-3,5 Alto > 3,6 Muy alto
	Textura	Franca-Arcillosa	Arenosa	Franco	-	Franca-Arcillosa	Franca-Arcillosa	Arenosa	Franco	-	Franca-Arcillosa	Franca-Arcillosa	Arenosa	Arenosa	-	Franca-Arcillosa	N/A

En el cuadro 5 los resultados de las muestras de suelo obtenidas en el área intervenida por pequeña minería y de las muestras testigo en lo que respecta al mercurio se puede ver que en las tres profundidades (50, 100 y 150 cm) están dentro de los límites permisibles, tomando en consideración que la media (promedio) de las profundidades a 50 cm tienen menor contenido de mercurio con respecto a la submuestra testigo en la misma profundidad, e igualmente entre las medias de las submuestras de las profundidades 100 y 150 cm con sus respectivas submuestras testigos.

Todos los resultados del contenido de plomo en las submuestras incluyendo las testigos se encuentran dentro de los límites permisibles; en cuanto a la media de las submuestras en la profundidad de 50 cm hay mayor concentración de plomo que su respectiva muestra testigo, al igual a 100 cm la media de la profundidad da como resultado mayor concentración en relación a la muestra testigo y finalmente en la profundidad 150 cm la media es mayor a su respectiva muestra testigo.

En lo que respecta al pH a excepción de la media en la profundidad de 150 cm las otras dos profundidades están fuera de los límites permisibles (suelo ácido) incluyendo las submuestras testigo. La media en las tres profundidades (50, 100 y 150 cm) da como resultado que el suelo es menos ácido en relación a sus respectivas submuestras testigo.

La conductividad en cada media en las tres profundidades al igual que las submuestras testigo se encuentran dentro de los límites permisibles, así mismo los valores ponderados (media) en las tres profundidades son mayores en relación a sus respectivas submuestras testigo.

El porcentaje de la materia orgánica en la media de las submuestras a 50 cm de profundidad es baja en relación a la submuestra testigo que se encuentra en un nivel normal; mientras que a 100 cm de profundidad la media de las submuestras es muy baja y en la submuestra testigo un nivel bajo; y, a 150 cm de profundidad la media de las submuestras está en un nivel muy bajo al igual que su respectiva submuestra testigo.

En cuanto a la textura se caracterizan por ser suelos franco arcilloso, arenoso y franco.

#### **6.2.5. Diseño estadístico: Modelo en Arreglo Factorial de 3x2.**

##### **6.2.5.1. Proceso.**

En el ingreso de datos para su respectivo proceso se consideró repeticiones (las tres profundidades de muestreo a 50, 100 y 150 cm) y tratamientos (suelo testigo y remediado).

##### *6.2.5.1.1. Parámetro mercurio.*

No fue posible realizar el proceso de análisis de varianza porque los datos son los mismos en el suelo remediado en sus tres profundidades, e igualmente en el testigo.

##### *6.2.5.1.2. Parámetro plomo.*

Las medias o promedios tanto del tratamiento testigo como del tratamiento uno en las profundidades 50, 100 y 150 cm se muestran a continuación:

**Cuadro 6.** Datos promedios del plomo de dos tratamientos en tres profundidades.

<b>Plomo</b>			
<b>Repeticiones (profundidades)</b>	<b>Tratamientos</b>		<b>TOTAL</b>
	<b>T<sub>0</sub></b>	<b>T<sub>1</sub></b>	
<b>1) 50</b>	3,0	6,1	9,1
<b>2) 100</b>	4,2	4,63	8,83
<b>3) 150</b>	4,8	4,9	9,7
<b>TOTAL</b>	12	15,63	<b>27,63</b>

$$FC = 127,23615$$

$$SC_{\text{Total}} = 132,3369 - 127,23615 = 5,10075$$

$$SC_{\text{Tratamiento}} = 129,4323 - 127,23615 = 2,19615$$

$$SC_{\text{Profundidad}} = 127,43445 - 127,23615 = 0,1983$$

$$SC_{\text{Error}} = 5,10075 - (2,19615 + 0,1983) = 2,7063$$

**Cuadro 7.** Análisis de varianza (plomo).

<b>ANOVA</b>						
<b>FV</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>Razón F</b>	<b>Valor crítico para F</b>	<b>Variabilidad o diferencia</b>
<b>Factor Tratamiento</b>	2,19615	1	2,19615	1,622	< 18,51	<b>NO</b>
<b>Factor Profundidad</b>	0,1983	2	0,09915	0,07327	< 18,51	<b>NO</b>
<b>Error</b>	2,7063	2	1,35315			
<b>Total</b>	5,10075	5				

**Donde:**

**FC:** Factor de correlación

**FV:** Fuente de variación

**SC:** Suma de cuadrados

**GL:** Grados de libertad

**CM:** Cuadrado medio

6.2.5.1.3. *Parámetro pH.*

Los promedios del tratamiento uno y testigo en las profundidades 50, 100 y 150 cm se muestran a continuación:

**Cuadro 8.** *Datos promedios del pH de dos tratamientos en tres profundidades.*

pH			
Repeticiones (profundidades)	Tratamientos		TOTAL
	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	
1) 50	5,2	5,43	10,63
2) 100	5,2	5,63	10,83
3) 150	5,2	6,0	11,2
<b>TOTAL</b>	15,6	17,06	<b>32,66</b>

$$FC = 177,779$$

$$SC_{\text{Total}} = 178,3018 - 177,779 = 0,5228$$

$$SC_{\text{Tratamiento}} = 0,355$$

$$SC_{\text{Profundidad}} = 0,0839$$

$$SC_{\text{Error}} = 0,0839$$

**Cuadro 9.** *Análisis de varianza (pH).*

ANOVA						
FV	SC	GL	CM	Razón F	Valor crítico para F	Variabilidad o diferencia
Factor Tratamiento	0,355	1	0,355	8,46	< 18,51	<b>NO</b>
Factor Profundidad	0,0839	2	0,04195	1	< 18,51	<b>NO</b>
Error	0,0839	2	0,04195			
Total	0,5228	5				

6.2.5.1.4. *Parámetro conductividad.*

En el parámetro conductividad los promedios del tratamiento uno y testigo en las profundidades 50, 100 y 150 cm se muestran a continuación:

**Cuadro 10.** *Datos promedios de la conductividad de dos tratamientos en tres profundidades.*

<b>Conductividad</b>			
<b>Repeticiones (profundidades)</b>	<b>Tratamientos</b>		<b>TOTAL</b>
	<b>T<sub>0</sub></b>	<b>T<sub>1</sub></b>	
<b>1) 50</b>	2,5	3,3	5,8
<b>2) 100</b>	1,2	4,13	5,33
<b>3) 150</b>	0,9	4,93	5,83
<b>TOTAL</b>	4,6	12,36	<b>16,96</b>

$$FC = 47,957$$

$$SC_{\text{Total}} = 60,776589 - 47,957 = 12,819$$

$$SC_{\text{Tratamiento}} = (174,003764 / 3) - 47,957 = 10,044$$

$$SC_{\text{Profundidad}} = 48,0348945 - 47,957 = 0,077$$

$$SC_{\text{Error}} = 12,819 - (10,044 + 0,077) = 2,698$$

**Cuadro 11.** *Análisis de varianza (conductividad).*

<b>ANOVA</b>						
<b>FV</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>Razón F</b>	<b>Valor crítico para F</b>	<b>Variabilidad o diferencia</b>
<b>Factor Tratamiento</b>	10,044	1	10,044	7,445	< 18,51	<b>NO</b>
<b>Factor Profundidad</b>	0,077	2	0,0385	0,0285	< 18,51	<b>NO</b>
<b>Error</b>	2,698	2	1,349			
<b>Total</b>	12,819	5				

6.2.5.1.5. *Parámetro materia orgánica.*

Los promedios del tratamiento uno y testigo en las profundidades 50, 100 y 150 cm se muestran a continuación:

**Cuadro 12.** *Datos promedios del % de materia orgánica de dos tratamientos en tres profundidades.*

<b>% Materia orgánica</b>			
<b>Repeticiones (profundidades)</b>	<b>Tratamientos</b>		<b>TOTAL</b>
	<b>T<sub>0</sub></b>	<b>T<sub>1</sub></b>	
<b>1) 50</b>	2,3	1,1	3,4
<b>2) 100</b>	1,2	0,259	1,459
<b>3) 150</b>	0,58	0,1177	0,6977
<b>TOTAL</b>	4,1	1,4767	<b>5,5567</b>

$$FC = 5,146$$

$$SC_{\text{Total}} = 8,3573 - 5,146 = 3,211$$

$$SC_{\text{Tratamiento}} = 6,27568 - 5,146 = 1,1296$$

$$SC_{\text{Profundidad}} = 7,087733 - 5,146 = 1,941733$$

$$SC_{\text{Error}} = 3,211 - (1,1296 + 1,9417) = 0,1397$$

**Cuadro 13.** *Análisis de varianza (% materia orgánica).*

<b>ANOVA</b>						
<b>FV</b>	<b>SC</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>Razón F</b>	<b>Valor crítico para F</b>	<b>Variabilidad o diferencia</b>
<b>Factor Tratamiento</b>	1,1296	1	1,1296	16,17	< 18,51	<b>NO</b>
<b>Factor Profundidad</b>	1,9417	2	0,9708	19,89	< 18,51	<b>NO</b>
<b>Error</b>	0,1397	2	0,06985			
<b>Total</b>	3,211	5				

### **6.2.5.2. Interpretación**

El diseño estadístico aplicado en la presente investigación fue un Arreglo Factorial 3x2; son tres repeticiones (profundidades) y dos tratamientos, Tratamiento cero ( $T_0$ ) corresponde al suelo no remediado (Testigo) y Tratamiento uno ( $T_1$ ) corresponde al suelo remediado a través de la implementación de la especie *brachiaria brizantha* (tratamiento establecido en el Plan de Manejo Ambiental de la concesión minera).

Para el parámetro mercurio el  $T_1$  no presenta variabilidad en las distintas profundidades y estadísticamente tampoco existe diferencia con el  $T_0$ ; en plomo a pesar que los datos generales observados a simple vista podrían dar lugar a creer que existe diferencia, realizando el análisis estadístico se establece que no existe diferencia ni en la profundidad ni en los tratamientos. Para los parámetros pH, conductividad y materia orgánica estadísticamente tampoco existe diferencia entre profundidades ni entre tratamientos.

## **6.3. Evaluar el contenido de mercurio y plomo en pastos sembrados en áreas que han recibido un proceso de remediación**

### **6.3.1. Información adicional del sitio de estudio.**

La información adicional sobre el sitio de estudio donde se extrajo las muestras de pasto es la misma que se obtuvo anteriormente para muestras de suelo (cuadro 2), con la única diferencia que en el número de muestras es cuatro (tres en el área intervenida por minería y una en el área testigo).

### **6.3.2. Cadena de custodia.**

A continuación se muestra la cadena de custodia, la cual garantizó la autenticidad, seguridad, preservación e integridad de las muestras de pasto que se obtuvieron inicialmente hasta que fueron entregadas al laboratorio.

**Cuadro 14. Cadena de custodia (pasto).**

CADENA DE CUSTODIA																		
REPORTAR A:			FACTURAR A:				REQUERIMIENTOS DE ANÁLISIS (PARÁMETROS)											
<b>Empresa:</b>	Byron Eduardo Carrillo Guarnizo		<b>Empresa:</b>	Byron Eduardo Carrillo Guarnizo														
<b>Dirección:</b>	Cumbaratza / Zamora		<b>Dirección:</b>	Cumbaratza / Zamora														
<b>E-mail:</b>	bycar.91@gmail.com		<b>E-mail:</b>	bycar.91@gmail.com														
<b>Contacto:</b>	Byron Eduardo Carrillo Guarnizo		<b>Contacto:</b>	Byron Eduardo Carrillo Guarnizo														
<b>Teléfono:</b>	2318072		<b>Teléfono:</b>	2318072														
<b>Ruc:</b>	1900666635		<b>Ruc:</b>	1900666635														
<b>Nombre del responsable del muestreo:</b> Byron Eduardo Carrillo Guarnizo						<b>Firma:</b>												
<b>Nombre del proyecto:</b> “Comprobación de la eficacia del proceso de remediación del suelo en el barrio Puente Azul en donde se han desarrollado actividades de extracción aurífera, cantón Zamora”.																		
Matriz*	Fecha	Hora	Comp	Punt	Identificación de la muestra	Número de envases por muestra	Oferta N° IBC-2015-05.003	Parámetros análisis en pastos										
VEG	19/05/2015	8:45 am		X	001	1		X										
VEG	19/05/2015	9:55 am		X	002	1		X										
VEG	19/05/2015	11:05 am		X	003	1		X										
VEG	19/05/2015	12:05 pm		X	004	1		X										
Registro de custodia																		
<b>Enviado por: (Firma)</b> Byron Eduardo Carrillo Guarnizo			<b>Fecha:</b> 19/05/2015	<b>Hora:</b> 13:50	<b>Recibido por: (Firma)</b>			<b>Fecha:</b> 19/05/2015	<b>Hora:</b> 13:55	<b>OBSERVACIONES</b> Resultados en físico enviar por Coop. Loja a Zamora a nombre de Byron Carrillo.								

**Matriz\*:** VEG – Vegetal (Código del laboratorio).

### 6.3.3. Resultado del análisis.

Los resultados del análisis de las muestras de pasto obtenido en el laboratorio de GRUNTEC, se muestran en el siguiente cuadro.

**Cuadro 15.** *Resultado del análisis de muestras de pasto.*

PARÁMETROS	MUESTRAS DE PASTO				
	1	2	3	$\bar{X}$	4 To
Mercurio mg/kg	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Plomo mg/kg	0.30	0.30	0.20	0.27	0.20

En el cuadro 15 los resultados de las muestras de pasto obtenidas tanto en el área intervenida por pequeña minería como fuera de ella (muestra testigo) se visualiza que si presentan contenidos de mercurio en las especies vegetales y la respectiva media de las tres muestras es igual a la muestra testigo en lo que respecta a la concentración de mercurio.

En cuanto al plomo, el área intervenida por minería aurífera presenta mayor concentración de plomo en el pasto de acuerdo al promedio de las muestras en relación a la muestra testigo donde no se han realizado actividades mineras.

## 7. DISCUSIÓN

### 7.1. Verificar en campo el proceso de remediación del suelo en áreas del barrio Puente Azul en donde se han realizado actividades de extracción aurífera

Dentro del área de investigación en el año 2010 donde se realizó la actividad minera aurífera, se utilizó mercurio en las clasificadoras tipo “Z” para el lavado del material, por lo tanto es necesario establecer que el área si contiene mercurio.

Las empresas de pequeña minería dejaron de utilizar mercurio en las clasificadoras tipo “Z” a partir del cambio de la Ley de Minería que se dio en julio de 2013, pero cabe mencionar que a pesar de lo dispuesto en la ley donde prohíbe el uso del mercurio en su totalidad aún lo están utilizando en el proceso de liquidación de las arenas hasta el mes de mayo del 2015.

Por el mal manejo y trato de las baterías de las maquinarias después de terminar su vida útil, es obvio que el suelo tiende a ser propenso e incluso posiblemente contaminado por el plomo que contienen las baterías.

En cuanto a sus planes de manejo ambiental dentro del EIA según la Asociación de Pequeños Mineros Autónomos de las Cuencas del Río Nambija y Quebrada Cambana (2003) que conciernen en la rehabilitación del área intervenida por la explotación aurífera que utilizan las compañías mineras que forman alianzas con la asociación, donde se establece que procederán a rellenar y compactar los bloques explotados con material (grava producto de la clasificadora), posteriormente depositar la capa vegetal almacenada

anteriormente (la que se retiró en un inicio en el desmantelamiento de la cobertura vegetal), y finalmente proceder a sembrar o reforestar con especies nativas, además implementar un vivero donde se producirán las especies autóctonas.

De acuerdo al resultado obtenido, las empresas mineras realizan el proceso de remediación del suelo en base a lo dispuesto en su plan de manejo ambiental. El proceso de remediación no es el correcto, ya que en la Normativa Ambiental Vigente en lo que respecta al Plan de Rehabilitación de Áreas Afectadas según el MAE (2014) en el Acuerdo Ministerial 006 establece que comprende las medidas, estrategias y tecnologías a aplicarse en el proyecto, obra o actividad para rehabilitar las áreas afectadas (restablecer la cobertura vegetal, garantizar la estabilidad y duración de la obra, remediación de suelos contaminados, etc.), para cual el Ministerio del Ambiente en su central Quito son los que no cumplen de acuerdo a la normativa, ya que aprueban en la actualidad el Plan de Rehabilitación de Áreas Afectadas solo con medidas implantadas en lo que respecta a reforestar.

## **7.2. Conocer el nivel de remediación del suelo contaminado por mercurio y plomo a distintas profundidades en el barrio Puente Azul donde se han realizado actividades de extracción aurífera**

En el área intervenida por minería, el resultado  $<0.1$  mg/kg de las medias o promedios del parámetro **mercurio (Hg)** analizado es el mismo en las tres profundidades (50, 100 y 150 cm), el cual está dentro del límite máximo permisible de 0.8 mg/kg establecido en el TULSMA (A.M. 028); dicha presencia del mercurio en iguales proporciones se debe a que el material (subsuelo) lavado

en la clasificadora “tipo Z” donde se le agrega el Hg para una mejor y efectiva retención del mineral aurífero, al culminarse ésta actividad se procede a colocar nuevamente el material lavado en el lugar donde se extrajo ya con presencia de mercurio; tomando en consideración que la textura varía desde arenosa a franco arcillosa, pH ligeramente ácido en las dos primeras profundidades (50 – 100 cm), en lo cual no coincide ligeramente con Castre, Cloirec y Desauziers, citado por Carpena et al. (2007) donde mencionan que, una vez depositado en el suelo, el mercurio es retenido por la materia orgánica y por los minerales de arcilla, a la vez Carpena et al. (2007) indican que los minerales de arcilla juegan un papel muy importante en la inmovilización del mercurio, especialmente en los suelos neutros y/o pobres en materia orgánica y la movilidad de Hg aumentará al disminuir el pH.

De acuerdo a información obtenida por parte de la Sra. Aurora Jima de 80 años de edad habitante del barrio Puente Azul hace exactamente 60 años, el mercurio (0.1 mg/kg en las tres profundidades) presente en el suelo del área no intervenida por minería y que está dentro de los LMP, se debe posiblemente a que el río Nambija (contaminado por actividades de minería aurífera) en algún momento tuvo contacto con el área donde se obtuvo la muestra testigo, ya que el río desde su inicio se encontraba justamente en el área intervenida por minería, y así con el transcurso del tiempo por actividades mineras lo fueron canalizando o desviando; lo que posiblemente justifica la presencia de Hg en el área testigo.

En el área intervenida por minería, el resultado 6.1 mg/kg promedio en la profundidad 50 cm del parámetro **plomo (Pb)** analizado es mayor con respecto a las otras profundidades e incluso submuestras testigo, lo cual en algunos

aspectos como el pH (mas ácidos) coincide con la Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades, citada por Londoño (2014) donde dice que el plomo, una vez depositado en el suelo, queda su mayor parte retenido la capa superficial, especialmente en suelos con un contenido de materia orgánica superior al 5% y un pH superior a 5, también el Pb no se lixivia fácilmente hacia las capas profundas del subsuelo y hacia el agua subterránea, excepto en medios muy ácidos sin embargo no se cumple para materia orgánica; lo que hace presumir que en éste parámetro Pb no incide la materia orgánica. Además según Dugast, citado por Londoño (2014) menciona que, el plomo puede absorberse fuertemente en arcillas especialmente.

La presencia de plomo en el área no intervenida por minería (testigo) es mayor en su máxima profundidad de muestreo (150 cm) dando un resultado de 4.8 mg/kg, siendo menor 4.2 mg/kg a 100 cm y 3 mg/kg a 50 cm de profundidad; por lo tanto la presencia de Pb en el área puede ser causa del desvío del río Nambija de su cauce natural para el desarrollo de actividades auríferas hace muchos años atrás como se lo describió anteriormente; otra causa que justifique la presencia de plomo posiblemente sea de forma u origen natural, ya que de acuerdo a Bowen, citado por Londoño (2014) indica que, teniendo en cuenta la concentración de metales en los suelos, los metales más abundantes son Mn, Cr, Zn, Ni y Pb con cantidades que pueden alcanzar hasta 1500 ppm (mg/kg); también dice que la acumulación de los metales pesados tiene lugar en la parte biológicamente más activa del suelo, de modo que los metales pueden ser fácilmente accesibles para los cultivos.

En sí los resultados de la concentración de plomo en el área intervenida por minería al igual que el testigo (no intervenida por minería) están dentro del límite máximo permisible de 60 mg/kg (ppm) establecido en el TULSMA.

De acuerdo a los resultados del diseño estadístico se puede establecer que el área de estudio hasta la fecha que se tomó las muestras no ha sido remediada óptimamente con la siembra de *brachiaria brizantha*, lo cual indica que la medida implementada en el Plan de Manejo Ambiental posiblemente no es efectiva para remediar suelos contaminados por Hg y Pb, tomando en consideración que otros factores de restauración natural pudieron intervenir en la estabilidad o disminución del contenido de los minerales metálicos en el suelo durante los 5 años, que es el tiempo en el cual se implementó la medida de remediación (2010) y que recién para el año 2015 con fines de la presente investigación se ha tomado las primeras muestras. Sin embargo para corroborar esta teoría sería necesario que se vuelva a tomar muestras de suelo en el mismo lugar luego de un año para verificar si el nivel de contaminación por Hg y Pb ha disminuido; además hay que considerar que según estudios realizados por Hernández y Mager, (2003) mencionan que, para esta especie el potencial fitorremediador se manifiesta a los 8 meses aproximadamente.

### **7.3. Evaluar el contenido de mercurio y plomo en *brachiaria brizantha* sembrada en áreas que han recibido un proceso de remediación**

El resultado del parámetro **mercurio (Hg)** es <0.1 mg/kg tomando en consideración como promedio de las tres muestras de pastos dentro del área intervenida por pequeña minería aurífera e igualmente la muestra testigo (no intervenida por minería), para lo cual el mencionado resultado coincide con Chang

et al., citado por Londoño (2014) donde indican que los pastos contienen niveles bajos cuando es menor a 0.1 mg/kg de Hg.

El resultado promedio del parámetro **plomo (Pb)** es 0.27 mg/kg dentro del área intervenida por pequeña minería aurífera, mientras que en la zona no intervenida por minería es 0.20 mg/kg, donde resultan ser menores a los resultados de Castro y Monroy, citado por Londoño (2014) que reportaron contenidos <5 mg/kg de Pb, y que además estos niveles pueden disminuir por la fotosíntesis y el crecimiento de la planta.

De acuerdo al Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España (2003) se afirma que los resultados promedios del parámetro mercurio (<0.1 mg/kg) y plomo (0.27 mg/kg) son menores a los contenidos máximos establecidos a materias primas para alimentación animal que son 0.1 mg/kg de mercurio y 10 mg/kg de plomo.

Se determina que el pasto *brachiaria brizantha* sembrada en el área no intervenida por minería (testigo) y donde sí se realizaron actividades auríferas para remediar el suelo tienen concentraciones de mercurio y plomo, pero se encuentran dentro de los límites máximos permisibles.

## 8. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados y aspectos relevantes obtenidos en esta investigación se ha considerado importante plantear las siguientes conclusiones:

- Los proyectos de pequeña minería aurífera (fase de explotación) de categorización IV se observan y aprueban en Quito, mientras que el MAE de Zamora Chinchipe solo tiene la potestad del control y seguimiento.

- El proceso de extracción minera aurífera en lo que corresponde a pequeña minería comienza en la primera fase que hace mención al desmantelamiento de la cobertura vegetal, extracción del material, lavado del material, liquidación del material procedente de la clasificadora, fundición del oro y finalmente la recuperación del área donde se extrajo el oro.

- La recuperación de suelos en áreas intervenidas por pequeña minería se realiza de acuerdo a las medidas establecidas en el Plan de Rehabilitación de Áreas Afectadas que presentan en el EIA las compañías mineras auríferas y que es aprobado por el MAE.

- El mercurio se lo dejó de utilizar en las clasificadoras para el lavado del material (subsuelo) a partir del cambio de la Ley de Minería en el 2013, aunque posteriormente aún lo seguían utilizando en el proceso de liquidación. En junio del 2015 se comenzó a utilizar el carbón activado en vez del mercurio.

- La presencia del plomo en el suelo generalmente se da por no llevar un buen manejo de las baterías (maquinaria) después de terminar su vida útil, las cuales quedaban al aire libre sin precaución alguna.

- La medida de remediación del suelo implementada en el Plan de Manejo Ambiental posiblemente no es efectiva para remediar suelos contaminados por mercurio y plomo hasta la fecha de toma de la muestra.

- Si se determinó la presencia de mercurio y plomo en el suelo, tanto en el área intervenida por pequeña minería aurífera como fuera de ella donde se extrajo la muestra testigo.

- El nivel de concentración de mercurio en el pasto del área intervenida por pequeña minería es igual a donde se extrajo la muestra testigo (no intervenida por minería), mientras que el nivel de plomo en el pasto del área intervenida es mayor en comparación a la muestra testigo.

- El suelo y pasto contaminado por la concentración de mercurio y plomo no pasan los límites máximos permisibles establecidos en el TULSMA y otros estudios científicos.

## 9. RECOMENDACIONES

- Los Planes de Rehabilitación de Áreas Afectadas se realicen de manera responsable por parte de la persona o técnicos encargados de elaborarlos.

- El Ministerio del Ambiente en Quito como máxima autoridad, a los proyectos de pequeña minería los observen y aprueben a cabalidad tomando en consideración la Normativa Ambiental vigente.

- Las compañías mineras auríferas y la autoridad ambiental tengan una base de datos en cuanto al análisis de suelos intervenidos por pequeña minería, ya que en la actualidad carecen de ellos.

- Las compañías mineras, personal laboral y toda persona en general sea consciente de lo que hace en sus distintas actividades diarias al aplicar valores ambientales de suma importancia para eliminar o disminuir aquellas acciones malas que afectan negativamente a nuestro entorno.

- El MAGAP u otras entidades competentes establezcan límites máximos permisibles de concentración de metales en pastos y demás especies vegetales.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

Arias, J., Camargo, J., & Muñoz, D. (15 de Enero de 2014). Evaluación del Contenido de Mercurio en Suelos y Lechos de Quebradas en la Zona Minera de Miraflores, Quinchía. 13. Colombia. Recuperado el 17 de Diciembre de 2014, de <file:///C:/Users/1tb%20idc/Downloads/40639-238029-1-PB.pdf>

Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador. (20 de Octubre de 2008). Constitución Política de la República del Ecuador. 218. Quito, Ecuador. Obtenido de [http://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/constitucion\\_de\\_bolsillo.pdf](http://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/constitucion_de_bolsillo.pdf)

Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador. (29 de Diciembre de 2014). Ley de Minería. Quito, Ecuador. Obtenido de <http://www.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2016/02/15.-Ley-de-Mineri%CC%81a.pdf>

Asociación de Pequeños Mineros Autónomos de las Cuencas del Río Nambija y Quebrada Cambana. (2003). Estudio de Impacto Ambiental. 250. San Carlos de las Minas, Zamora Chinchipe, Ecuador.

Astudillo, A., & Carrillo, G. (2009). Estudio de la Generación de Vapores de Mercurio en la Extracción de Oro, y sus Efectos en los Trabajadores de una Área Minera en el Cantón Ponce Enríquez – Azuay. 20. Cuenca, Azuay, Ecuador. Recuperado el 15 de Diciembre de 2014, de [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Cvws-v3g6KwJ:c\\_eaucuenca.ec/index.php%3Foption%3Dcom\\_filecabinet%26task%3Ddownl](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Cvws-v3g6KwJ:c_eaucuenca.ec/index.php%3Foption%3Dcom_filecabinet%26task%3Ddownl)

oad%26cid%255B0%255D%3D2%26Itemid%3D55+&cd=1&hl=es&ct=clnk  
&gl=ec

Campos, A., Lebgue, T., Puga, S., Quintana, C., & Sosa, M. (2006). Contaminación por Metales Pesados en Suelo Provocada por la Industria Minera. 7. Lima, Perú. Recuperado el 17 de Diciembre de 2014, de <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v5n1-2/a20v5n1-2.pdf>

Carpena, R., Esteban, E., Gamarra, R., Moreno, E., Millán, R., Peñalosa, J., . . . Sierra, M. (Mayo de 2007). Rehabilitación de suelos contaminados. *Estrategias aplicables en el área de Almaden*, 11. Madrid, España. Obtenido de <http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/viewFile/130/127>

Cruz, P., Hernández, H., Paz, M., & Saavedra, E. (2013). Propuesta metodológica para la implementación de un plan de manejo ambiental de explotación aurífera de pequeña minería asociada con minería artesanal en la microcuenca Linday, Vereda Yaguara. 3. Ibagué, Colombia. Obtenido de [http://www.ut.edu.co/academico/images/archivos/Fac\\_Forestal/Documentos/TRABAJOS\\_ESP\\_IMPACTO\\_AMBIENTAL/MARIA%20DEL%20PILAR%20CRUZ%20BONILLA.pdf](http://www.ut.edu.co/academico/images/archivos/Fac_Forestal/Documentos/TRABAJOS_ESP_IMPACTO_AMBIENTAL/MARIA%20DEL%20PILAR%20CRUZ%20BONILLA.pdf)

De la Rosa, D., Velasco, J., & Volke, T. (Mayo de 2005). Suelos Contaminados por Metales y Metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. 144. México, D.F. Recuperado el 16 de Diciembre de 2014, de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/B1E761B1E2F24A5C05257D490070F94F/\\$FILE/SuelosContaminadosPorMetalesYMetaloides.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/B1E761B1E2F24A5C05257D490070F94F/$FILE/SuelosContaminadosPorMetalesYMetaloides.pdf)

- Figueroa, I., & Vásconez, S. (Agosto de 2010). *La Influencia de la Actividad Extractiva en el Ordenamiento Territorial: el caso de la amazonía ecuatoriana*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2014, de <http://extrayendotransparencia.grupofaro.org/wp-content/uploads/2012/06/La-influencia-de-la-actividad-extractiva-en-el-ordenamiento-territoriall.pdf>
- Galán, E., & Romero, A. (Noviembre de 2008). *Contaminación de Suelos por Metales Pesados*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2014, de [http://www.ehu.eus/sem/macla\\_pdf/macla10/Macla10\\_48.pdf](http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf)
- García, F., Hill, M., Kaplán, A., Ponde de León, J., & Rucks, L. (2014). *Propiedades Físicas del Suelo*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2014, de <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de San Carlos de las Minas. (2012). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. 166.
- Gordillo, P. (Agosto de 2014). Impacto económico del proyecto Minero a gran escala. 30. Quito, Pichincha, Ecuador. Recuperado el 15 de Diciembre de 2014, de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/6892/7.36.000535.pdf?sequence=4>
- Hernández, I., & Mager, D. (2003). Uso de *Panicum maximum* y *Brachiaria brizantha* para fitorremediar suelos contaminados. Venezuela. Obtenido de [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-33612003000300001](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612003000300001)

Higueras, P., & Oyarzun, R. (2015). Restauración y remediación III: suelos y aguas subterráneas. Ciudad Real, España. Recuperado el 16 de Diciembre de 2014, de <http://www.uclm.es/users/higueras/mam/MMAM10.htm>

Honorable Congreso Nacional del Ecuador. (10 de Septiembre de 2004). Ley de Gestión Ambiental. 14. Quito, Ecuador. Obtenido de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-GESTION-AMBIENTAL.pdf>

Jiménez, J., & Torres, C. (31 de Mayo de 2006). Procedimiento para la Toma de Muestras. 6. Panamá. Recuperado el 17 de Diciembre de 2014, de <http://www.utp.ac.pa/sites/default/files/PCUTP-CIHH-LSA-101-2006.pdf>

Londoño, L. (2014). Presencia de metales pesados en hatos lecheros de los municipios de San Pedro y Entrerrios, Antioquia, Colombia. 232. Obtenido de [https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/3667/tesis\\_99262f.PDF?sequence=1](https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/3667/tesis_99262f.PDF?sequence=1)

Maloka. (2009). Sobre el suelo. *El suelo*. Bogotá, Colombia. Recuperado el 15 de Diciembre de 2014, de El suelo: [http://www.maloka.org/suelos/que\\_es\\_el\\_suelo.html](http://www.maloka.org/suelos/que_es_el_suelo.html)

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España. (2003). Sustancias indeseables en la alimentación animal. España. Obtenido de <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-8717>

Ministerio del Ambiente de Ecuador. (19 de Febrero de 2014). Acuerdo Ministerial 006. *Reformar el Título I y IV del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente*. Quito, Ecuador. Obtenido de

file:///C:/Users/1tb%20idc/Downloads/A.M.%20006%20%20REFORMA%20AL%20A.M.%20068.pdf

Ministerio del Ambiente de Ecuador. (13 de Febrero de 2015). Acuerdo Ministerial 028. *Sustituyese el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente*, 220. Quito, Ecuador. Obtenido de <http://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2010/05/Libro-VI-Calidad-Ambiental.pdf>

Ministerio del Ambiente de Ecuador. (4 de Mayo de 2015). Acuerdo Ministerial 061. *Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente*, 80. Quito, Ecuador. Obtenido de <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185880/ACUERDO+061+REFORMA+LIBRO+VI+TULSMA+-+R.O.316+04+DE+MAYO+2015.pdf/3c02e9cb-0074-4fb0-afbe-0626370fa108>

Ministerio del Ambiente de Perú. (2014). Guía para Muestreo de Suelos. Lima, Perú. Recuperado el 17 de Diciembre de 2014, de [http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO\\_MINAM1.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf)

Pavón Chocano, A. B. (Junio de 2003). Instalación de riego por goteo en una parcela de maíz. *Añalisis de suelo*, 8. España. Obtenido de [https://www.uclm.es/area/ing\\_rural/Proyectos/AntonioPavon/05-Anejolll.pdf](https://www.uclm.es/area/ing_rural/Proyectos/AntonioPavon/05-Anejolll.pdf)

Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (Diciembre de 2010). *Análisis del flujo del comercio y revisión de prácticas de manejo ambientalmente racionales de productos conteniendo cadmio, plomo y mercurio en América Latina y el Caribe*. Obtenido de <http://www.unep.org/>

chemicalsandwaste/Portals/9/Lead\_Cadmium/docs/Trade\_Reports/LAC/Trade\_report\_LAC\_Spanish\_and\_English.pdf

ProtectEcuador. (2013). Contaminación por Metales Pesados y Lixiviación. Quito, Pichincha, Ecuador. Recuperado el 15 de Diciembre de 2014, de <http://protectecuador.org/es/portfolio/contaminacion-por-metales-pesados-y-lixiviacion/>

Ramón, S. I. (Mayo de 2012). Remediación de Suelos. 55. México. Recuperado el 17 de Diciembre de 2014, de <http://es.slideshare.net/SeleneRamn/remediacion>

Rincón, M. C. (2004). Estudio de la Biorremediación como una alternativa en la mitigación de la contaminación ambiental. 136. Colombia. Recuperado el 17 de Diciembre de 2014, de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7021/2/114220.pdf>

Ríos, C. A. (2005). Caracterización de lodos contaminados con hidrocarburos de la piscina de lodos del terminal de productos limpios del “Beaterio”. 124. Quito, Ecuador. Recuperado el 17 de Diciembre de 2014, de [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:euwL9vz-mHQJ:repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/5943/1/25051\\_1.pdf+&cd=8&hl=es&ct=clnk&gl=ec](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:euwL9vz-mHQJ:repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/5943/1/25051_1.pdf+&cd=8&hl=es&ct=clnk&gl=ec)

Rodríguez, J., & Sánchez, J. (2003). Biorremediación. *Fundamentos y aspectos microbiológicos*, 5. Oviedo, España. Recuperado el 16 de Diciembre de 2014, de [http://ingenierosdeminas.org/docu/documentos/fundamentos\\_%20obiorremediacion.pdf](http://ingenierosdeminas.org/docu/documentos/fundamentos_%20obiorremediacion.pdf)

Velasco, J., & Volke, T. (2002). *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. Obtenido de <http://www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/372.pdf>

# 11. ANEXOS

**Anexo 1:** Modelo de entrevista para aplicar al coordinador o técnico encargado de la Unidad de Calidad Ambiental del MAE, Dirección Provincial de Zamora Chinchipe.



## UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA SEDE ZAMORA

### Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

### Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente

**Entrevista al coordinador o técnico encargado de la Unidad de Calidad Ambiental del MAE, Dirección Provincial de Zamora Chinchipe.**

Institución:..... Departamento/Unidad:.....

Técnico/Persona entrevistada:..... Cargo/Actividad:.....

Responsable de la entrevista:.....

Fecha:..... Hora:.....

**1. ¿En base a qué normativa ambiental se regularizan y categorizan los proyectos de pequeña minería?**

.....  
.....  
.....

**2. ¿En qué Categorización Ambiental Nacional entran los proyectos de pequeña minería (explotación)?**

.....  
.....  
.....

**3. ¿Cuáles son los requisitos para la regularización ambiental dentro de la elaboración y ejecución de un proyecto de pequeña minería?**

.....  
.....  
.....

**4. Dentro de los Planes de Manejo Ambiental de un proyecto de pequeña minería, ¿en qué consiste el Plan de Rehabilitación de Áreas Afectadas?**

.....  
.....  
.....

**5. ¿Dan seguimiento o monitoreo al cumplimiento del Plan de Rehabilitación de Áreas Afectadas en los proyectos de pequeña minería?**

.....  
.....  
.....

**6. ¿Se está dando cumplimiento correcto del Plan de Rehabilitación de Áreas Afectadas de acuerdo a lo que establece la normativa legal vigente?**

.....  
.....  
.....

**7. ¿La institución cuenta con estudios de investigación en lo cual demuestren que los suelos quedan o no remediados posterior a la ejecución del Plan de Rehabilitación de Áreas Afectadas en los proyectos de pequeña minería?**

.....  
.....  
.....

**Anexo 2:** Lista de chequeo de diagnóstico del proceso de remediación del suelo alterado por actividad minera aurífera.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA SEDE ZAMORA**

**Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables**

**Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente**

Compañía minera:.....

Técnico/Persona:.....

Investigador/Responsable:.....

Fecha:..... Hora:.....

Provincia:..... Cantón:.....

Parroquia:..... Sector:.....

LISTA DE CHEQUEO				
VARIABLE	PREGUNTA	SI	NO	OBSERVACIONES
Remediación del suelo	¿Dan cumplimiento al proceso de recuperación o remediación del área afectada por la actividad minera de acuerdo a lo estipulado por el MAE?			
	¿Se realiza el desmantelamiento de			

	la cobertura vegetal?			
	¿Existen registros del área recuperada?			
	¿Se utiliza diversas especies vegetales en el área de remediación?			
	¿Se ha introducido especies exóticas?			
	¿Hay pérdida de especies?			
	¿Hay cambios en las masas de agua o superficie terrestre que afecten al drenaje o produzcan filtraciones?			
	¿Se dan cambios permanentes o temporales en el uso de suelo, cobertura o topografía?			
	¿Se tiene conocimiento o han comprobado si las especies vegetales utilizadas en la remediación son eficaces?			
	¿Las especies vegetales			

	sembradas en el área a remediar previenen pérdidas de suelos y/o erosión?			
	¿Las especies vegetales utilizadas para la remediación causan daño alguno al ganado al ser utilizados como alimento e incluso a las personas al consumir su carne o derivados?			
	¿El Ministerio del Ambiente realiza las distintas inspecciones de campo para constatar el proceso de remediación del área?			
	¿El Ministerio del Ambiente ha quedado conforme con el proceso de remediación del suelo que se realiza luego de haber concluido el proceso extractivo aurífero?			

**Anexo 3:** Ficha para la caracterización del área de influencia directa.**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA SEDE ZAMORA****Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables****Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente**

Responsable:.....

Fecha:..... Hora:.....

Provincia:..... Cantón:.....

Parroquia:..... Sector:.....

**FICHA: CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DIRECTA**

Ubicación Geográfica del sitio:

Ubicación de las zonas aledañas:

Condiciones locales de la zona:

-Precipitación:

-Clima:

-Temperatura del ambiente:	-Ubicación de cuerpos de agua aledaños:
Caracterización del suelo:	
-Uso del suelo:	-Vegetación presente:
-Topografía:	

**Anexo 4:** Modelo de entrevista para aplicar al técnico encargado del control y ejecución del proceso de extracción minera aurífera.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA SEDE ZAMORA**

**Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables**

**Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente**

**Entrevista al técnico encargado del control y ejecución del proceso de extracción minera aurífera.**

Compañía minera:.....

Técnico/Persona entrevistada:..... Cargo/Actividad:.....

Responsable de la entrevista:.....

Fecha:..... Hora:.....

**1. ¿La compañía minera cuenta con los respectivos permisos establecido en base a las normativas o leyes ambientales?**

.....

.....

.....

2. Además de la compañía minera ¿hay alguna persona u organización que se asocia y recibe sus respectivos beneficios económicos?

.....

.....

.....

3. Cuáles son cada una de las actividades de extracción aurífera, tomando en consideración la maquinaria, equipos o materiales para su desarrollo?

N°	Actividad	Desarrollo	Maquinaria, equipos o materiales.	Observaciones

4. Luego de la culminación del proyecto el área intervenida por la actividad minera ¿a qué otras funciones se las destina?

.....

.....

.....

**5. En caso de ser remediados los suelos intervenidos por la actividad minera ¿las áreas toman la apariencia a las condiciones en que se encontraron antes de ser intervenidas?**

.....  
.....  
.....

**6. ¿Se han realizado muestreos de suelo y su respectivo análisis de laboratorio que permitan determinar si están dentro o no de los límites permisibles?**

.....  
.....  
.....

**Anexo 5:** Hoja de registro.

<b>HOJA DE REGISTRO</b>										
Provincia:		Cantón:								
Parroquia:		Sector:								
Nombre del proyecto:		Código de muestra:		Coordenadas UTM						
		<table border="1" style="width: 100%; height: 20px;"> <tr> <td style="width: 15px;"></td> </tr> </table>								
Fecha y hora de construcción del punto de muestreo		Inicial:		Final:						
Fecha y hora de la toma de muestra		Inicial:		Final:						
Nombre de la persona/empresa que realiza el muestreo:										
Nombre del ejecutante del muestreo:										
Equipo de perforación:										
Profundidad:		Diámetro:								
Tiempo de espera entre la perforación y el muestreo (min):		Peso de la muestra (g):		Contenedor/recipiente de la muestra:						
		Tamaño (cm):								
Clima	Soleado ( )	Nublado ( )	Otro ( )	Cual:						
Temperatura °C:										
FOTO			COMENTARIOS Y SUCESOS ESPECIALES							

**Anexo 6:** Etiqueta para muestras de suelo.**ETIQUETA MUESTRAS DE SUELO**

Nombre del sitio:..... Código de la muestra:.....

Fecha del muestreo:..... Cantidad en gramos:.....

Profundidad de la muestra:..... Método de muestreo:.....

Responsable:..... Coordenadas UTM:.....

**Anexo 7:** Etiqueta para muestras de pasto.**ETIQUETA MUESTRAS DE PASTO**

Nombre del sitio:..... Código de la muestra:.....

Fecha del muestreo:..... Cantidad en gramos:.....

Tamaño del pasto:..... Método de muestreo:.....

Responsable:..... Coordenadas UTM:.....

**Anexo 8:** Cadena de custodia para muestras de suelo y pastos.

<b>CADENA DE CUSTODIA</b>																						
REPORTAR A:				FACTURAR A:				REQUERIMIENTOS DE ANÁLISIS (PARÁMETROS)														
Empresa:				Empresa:																		
Dirección:				Dirección:																		
E-mail:				E-mail:																		
Contacto:				Contacto:																		
Teléfono:				Teléfono:																		
Ruc:				Ruc:																		
Nombre del responsable del muestreo:								Firma:														
Nombre del proyecto:																						
Matriz*	Fecha	Hora	Comp.	Punt.	Identificación de la muestra	Número de envases por muestra																
Registro de custodia																						
Enviado por: (Firma)		Fecha:	Hora:	Recibido por: (Firma)				Fecha:	Hora:	OBSERVACIONES												

## Anexo 9: Resultados del análisis de muestras de suelo en el laboratorio.



**REPORTE DE ANÁLISIS**

**Ciente:** Ing. Byron Eduardo Carrillo Guarnizo  
Cumaratzá  
Telf: 2318072 / 0981648837  
**Atn:** Ing. Byron Carrillo

**Proyecto:** Comprobación de la eficacia del proceso de remediación del suelo del barrio P. A.

**Muestra Recibida:** 20-may-15

**Tipo de Muestra:** 12 Muestras de Suelo

**Análisis Completado:** 29-may-15

**Número reporte Grüntec:** 1505234-S001-12

Rotulación Muestra:	5	6	7	Límite Máximo Permisible Tabla 2 TULSMA - Industrial a)	Límite Máximo Permisible Tabla 2 TULSMA - Agrícola a)	Método Adaptado de Referencia
Fecha de Muestreo:	19-may-15	19-may-15	19-may-15			
No. Reporte Grüntec:	1505234-S001	1505234-S002	1505234-S003			
<b>Parámetros en Extracción Acuosa 2:1:</b>						
pH <sup>(1,3)</sup>	5.1	5.1	5.5	6 a 8	6 a 8	EPA 9045 D
Conductividad $\mu\text{S/cm}^{(1,3)}$	23	62	84	400	200	EPA 9050 A
<b>Parámetros Generales en Suelos:</b>						
Textura *	Franca-Arcillosa	Franca-Arcillosa	Franca-Arcillosa	N/A	N/A	Método Interno
<b>Metales en peso seco:</b>						
Mercurio mg/kg <sup>(1,3)</sup>	<0.1	<0.1	<0.1	10	0.8	EPA 6020 A
Plomo mg/kg <sup>(1,3)</sup>	6.1	5.4	5.1	150	60	EPA 6020 A
<b>Parámetros Orgánicos en peso seco:</b>						
Materia Orgánica % *	3.0	0.66	0.29	N/A	N/A	HACH 8097

**Registros y Acreditaciones:**

<sup>(1)</sup> Acreditación No. OAE LE 2C 05-008

<sup>(2)</sup> Acreditación CALA No. A3154

<sup>(3)</sup> Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

Los ensayos marcados con (\*) no están dentro del alcance de acreditación del OAE

N/A - No Aplica

a) Criterios de remediación, Anexo II, A.M. 028, 13 de febrero 2015

INCERTIDUMBRE (U) para pH = 0.2 unidades

INCERTIDUMBRE (U):

Metales en sólidos = 0.30; Conductividad en sólidos = 0.11; Humedad = 0.05

Cálculo: C +/- UxC en donde: C=valor medido; U= incertidumbre.

Ing. Isabel Estrella  
 Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

Página 1 de 4


**REPORTE DE ANÁLISIS**

**Cliente:** Ing. Byron Eduardo Carrillo Guarnizo  
Cumbatarza  
Telf: 2318072 / 0981648837  
**Atn:** Ing. Byron Carrillo

**Proyecto:** Comprobación de la eficacia del proceso de remediación del suelo del barrio P. A.

**Muestra Recibida:** 20-may-15  
**Tipo de Muestra:** 12 Muestras de Suelo  
**Análisis Completado:** 29-may-15  
**Número reporte Gruntec:** 1505234-S001-12

Rotulación Muestra:	8	9	10	Límite Máximo Permisible Tabla 2 TULSMA - Industrial a)	Límite Máximo Permisible Tabla 2 TULSMA - Agrícola a)	Método Adaptado de Referencia
Fecha de Muestreo:	19-may-15	19-may-15	19-may-15			
No. Reporte Gruntec:	1505234-S004	1505234-S005	1505234-S006			
<b>Parámetros en Extracción Acuosa 2:1:</b>						
pH <sup>(1,3)</sup>	6.0	6.3	6.5	6 a 8	6 a 8	EPA 9045 D
Conductividad $\mu$ S/cm <sup>(1,3)</sup>	37	31	42	400	200	EPA 9050 A
<b>Parámetros Generales en Suelos:</b>						
Textura *	Arenosa	Arenosa	Arenosa	N/A	N/A	Método Interno
<b>Metales en peso seco:</b>						
Mercurio mg/kg <sup>(1,3)</sup>	<0.1	<0.1	<0.1	10	0.8	EPA 6020 A
Plomo mg/kg <sup>(1,3)</sup>	7.0	4.1	4.9	150	60	EPA 6020 A
<b>Parámetros Orgánicos en peso seco:</b>						
Materia Orgánica % *	0.12	0.059	0.017	N/A	N/A	HACH 8097

**Registros y Acreditaciones:**

<sup>(1)</sup> Acreditación No. OAE LE 2C 05-008

<sup>(2)</sup> Acreditación CALA No. A3154

<sup>(3)</sup> Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

Los ensayos marcados con (\*) no están dentro del alcance de acreditación del OAE

N/A - No Aplica

a) Criterios de calidad de Suelo. Anexo II. A.M. 028, 13 de febrero 2015

INCERTIDUMBRE (U) para pH = 0.2 unidades

INCERTIDUMBRE (U):

Metales en sólidos = 0.30; Conductividad en sólidos = 0.11; Humedad = 0.05

Cálculo: C +/- UxC en donde, C=valor medido; U= incertidumbre.

*Ing. Isabel Estrella*

**Ing. Isabel Estrella**  
**Gerente de Operaciones**

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

Página 2 de 4



### REPORTE DE ANÁLISIS

**Ciente:** Ing. Byron Eduardo Carrillo Guarnizo  
Cumbartzta  
Telf: 2318072 / 0981648837  
**Atn:** Ing. Byron Carrillo

**Proyecto:** Comprobación de la eficacia del proceso de remediación del suelo del barrio P. A.

**Muestra Recibida:** 20-may-15  
**Tipo de Muestra:** 12 Muestras de Suelo  
**Análisis Completado:** 29-may-15  
**Número reporte Gruentec:** 1505234-S001-12

Rotulación Muestra:	11	12	13	Límite Máximo Permisible Tabla 2 TULSMA - Industrial a)	Límite Máximo Permisible Tabla 2 TULSMA - Agrícola a)	Método Adaptado de Referencia
Fecha de Muestreo:	19-may-15	19-may-15	19-may-15			
No. Reporte Gruentec:	1505234-S007	1505234-S008	1505234-S009			
<b>Parámetros en Extracción Acuosa 2:1:</b>						
pH <sup>(1,3)</sup>	5.2	5.5	6.0	6 a 8	6 a 8	EPA 9045 D
Conductividad $\mu\text{S/cm}$ <sup>(1,3)</sup>	39	31	22	400	200	EPA 9050 A
<b>Parámetros Generales en Suelos:</b>						
Textura *	Franco	Franco	Arenosa	N/A	N/A	Método Interno
<b>Metales en peso seco:</b>						
Mercurio mg/kg <sup>(1,3)</sup>	<0.1	<0.1	<0.1	10	0.8	EPA 6020 A
Plomo mg/kg <sup>(1,3)</sup>	5.2	4.4	4.7	150	60	EPA 6020 A
<b>Parámetros Orgánicos en peso seco:</b>						
Materia Orgánica % *	0.18	0.057	0.076	N/A	N/A	HACH 8097

**Registros y Acreditaciones:**

<sup>(1)</sup> Acreditación No. OAE LE 2C 05-008

<sup>(2)</sup> Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

<sup>(2)</sup> Acreditación CALA No. A3154

Los ensayos marcados con (\*) no están dentro del alcance de acreditación del OAE

N/A - No Aplica

a) Criterios de calidad de Suelo. Anexo II. A.M. 028, 13 de febrero 2015

INCERTIDUMBRE (U) para pH = 0.2 unidades

INCERTIDUMBRE (U):

Metales en sólidos = 0.30; Conductividad en sólidos = 0.11; Humedad = 0.05

Cálculo: C +/- UxC en donde: C=valor medido; U= incertidumbre.

*Ing. Isabel Estrella*

**Ing. Isabel Estrella**

**Gerente de Operaciones**

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

Página 3 de 4

### REPORTE DE ANÁLISIS



**Cliente:** Ing. Byron Eduardo Carrillo Guarnizo  
Cumbaratza  
Telf: 2318072 / 0981648837  
**Atn:** Ing. Byron Carrillo

**Proyecto:** Comprobación de la eficacia del proceso de remediación del suelo del barrio P. A.

**Muestra Recibida:** 20-may-15

**Tipo de Muestra:** 12 Muestras de Suelo

**Análisis Completado:** 29-may-15

**Número reporte Gruentec:** 1505234-S001-12

Rotulación Muestra:	14	15	16	Límite Máximo Permisible Tabla 2 TULSMA - Industrial a)	Límite Máximo Permisible Tabla 2 TULSMA - Agrícola a)	Método Adaptado de Referencia
Fecha de Muestreo:	19-may-15	19-may-15	19-may-15			
No. Reporte Gruentec:	1505234-S010	1505234-S011	1505234-S012			
<b>Parámetros en Extracción Acuosa 2:1:</b>						
pH <sup>(1,3)</sup>	5.2	5.2	5.2	6 a 8	6 a 8	EPA 9045 D
Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$ <sup>(1,3)</sup>	25	12	9	400	200	EPA 9050 A
<b>Parámetros Generales en Suelos:</b>						
Textura *	Franca-Arcillosa	Franca-Arcillosa	Franca-Arcillosa	N/A	N/A	Método Interno
<b>Metales en peso seco:</b>						
Mercurio $\text{mg}/\text{kg}$ <sup>(1,3)</sup>	0.1	0.1	0.1	10	0.8	EPA 6020 A
Plomo $\text{mg}/\text{kg}$ <sup>(1,3)</sup>	3.0	4.2	4.8	150	60	EPA 6020 A
<b>Parámetros Orgánicos en peso seco:</b>						
Materia Orgánica % *	2.3	1.2	0.58	N/A	N/A	HACH 8097

**Registros y Acreditaciones:**

<sup>(1)</sup> Acreditación No. OAE LE 2C 05-008

<sup>(2)</sup> Acreditación CALA No. A3154

<sup>(3)</sup> Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

Los ensayos marcados con (\*) no están dentro del alcance de acreditación del OAE

N/A - No Aplica

a) Criterios de calidad de Suelo. Anexo II, A.M. 028, 13 de febrero 2015

INCERTIDUMBRE (U) para pH = 0.2 unidades

INCERTIDUMBRE (U):

Metales en sólidos = 0.30; Conductividad en sólidos = 0.11; Humedad = 0.05

Cálculo: C +/- UxC en donde: C=valor medido; U= incertidumbre.

*Ing. Isabel Estrella*  
Ing. Isabel Estrella  
Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

Página 4 de 4.

## Anexo 10: Resultados del análisis de muestras de pasto en el laboratorio.



### REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: Ing. Byron Eduardo Carrillo Guarnizo

Cumbaratza  
Telf. 2318072 / 0981648837

Atn: Ing. Byron Carrillo

Proyecto: Comprobación de la eficacia del proceso de remediación del suelo en el barrio P. A.

Muestra Recibida: 20-may-15

Tipo de Muestra: 4 Muestras de Pastos

Análisis Completado: 26-may-15

Número reporte Grúntec: 1505241-VEG001-4

Rotulación Muestra:	1	2	3	4	Método Adaptado de Referencia
Fecha de Muestreo:	19-may-15	19-may-15	19-may-15	19-may-15	
No. Reporte Grúntec:	1505241-VEG001	1505241-VEG002	1505241-VEG003	1505241-VEG004	

Metales en peso seco:	1	2	3	4	
Mercurio mg/kg *	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	EPA 6020 A
Plomo mg/kg *	0.3	0.3	0.2	0.2	EPA 6020 A

#### Registros y Acreditaciones:

<sup>(1)</sup> Acreditación No. OAE LE 2C 05-008

<sup>(2)</sup> Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

<sup>(2)</sup> Acreditación CALA No. A3154

Los ensayos marcados con (\*) no están dentro del alcance de acreditación del OAE

a) El análisis se realizó en las hojas.

INCERTIDUMBRE (U):

Metales en sólidos = 0.30; Humedad = 0.05

Cálculo: C +/- UxC en donde: C=valor medido; U= incertidumbre.

Ing. Isabel Estrella  
Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este reporte en forma exclusiva y confidencial.

Nota 2: La toma de muestras fue realizada directamente por el cliente.

Nota 3: El cliente puede solicitar la fecha de análisis de los parámetros en caso de requerirlo.

Página 1 de 1

## ÍNDICE GENERAL

### Índice de Contenido

CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA.....	iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
1. TÍTULO.....	1
2. RESUMEN.....	2
2.1. SUMMARY.....	4
3. INTRODUCCIÓN.....	6
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	9
4.1. Marco teórico y desarrollo conceptual.....	9
4.1.1. Suelo.....	9
4.1.1.1. Propiedades físicas.....	9
4.1.1.2. Propiedades químicas.....	10
4.1.1.3. Propiedades biológicas.....	10
4.1.2. Actividad minera aurífera a cielo abierto.....	11
4.1.2.1. Impactos por la actividad aurífera al suelo por metales pesados.....	12
4.1.2.2. Pequeña minería.....	14
4.1.3. Mercurio.....	15
4.1.3.1. Fuentes de contaminación del mercurio.....	16
4.1.3.1.1. Origen natural.....	16
4.1.3.1.2. Origen antropogénico.....	16

4.1.3.2. Minería y mercurio.....	16
4.1.3.3. Efectos del mercurio a la salud humana.....	17
4.1.3.4. Efectos del mercurio al medio ambiente.....	17
4.1.4. Plomo.....	18
4.1.4.1. Fuentes de contaminación del plomo.....	19
4.1.4.1.1. Origen natural.....	19
4.1.4.1.2. Origen antropogénico.....	19
4.1.4.2. Minería y plomo.....	19
4.1.4.3. Efectos del plomo a la salud humana.....	20
4.1.4.4. Efectos del plomo al medio ambiente.....	21
4.1.5. Tecnologías de remediación.....	22
4.1.5.1. Tipos de tratamiento.....	22
4.1.5.1.1. Tratamientos biológicos (biorremediación).....	22
4.1.5.1.2. Tratamientos fisicoquímicos.....	22
4.1.5.1.3. Tratamientos térmicos.....	23
4.1.5.2. Técnicas de tratamiento in situ.....	23
4.1.5.2.1. Las técnicas de remediación in situ de carácter biológico.....	23
4.1.5.2.2. Las técnicas de remediación in situ de carácter físico-químico.....	26
4.1.5.3. Técnicas de tratamiento ex situ.....	30
4.1.5.3.1. Desorción térmica.....	30
4.1.5.3.2. Lavado del suelo.....	30
4.1.5.3.3. Extracción con solventes.....	31
4.1.5.3.4. Deshalogenación química.....	31
4.1.6. Suelos contaminados.....	31
4.1.6.1. Caracterización del área de influencia directa.....	32

4.1.6.2. Determinación del origen de la contaminación.....	33
4.1.6.3. Diagnóstico de la contaminación in situ.....	34
4.1.6.4. Criterios de toma de muestras.....	34
4.1.6.4.1. De la toma de muestras en caso de suelos contaminados.....	34
4.1.6.4.2. Análisis de muestra.....	36
4.1.6.4.3. Tipos de muestreo.....	36
4.1.6.4.4. Muestreo de comprobación de la remediación (MC).....	38
4.1.6.4.5. Tipos de muestras.....	39
4.2. Marco Legal.....	40
4.2.1. Constitución Política de la República del Ecuador.....	40
4.2.2. Ley de Gestión Ambiental.....	41
4.2.3. Ley de Minería.....	43
4.2.4. Reforma del Libro VI Del Texto Unificado de Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente.....	45
4.2.5. Sustituyese el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiental.....	48
4.2.6. Reformar el Título I y IV del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.....	51
4.3. Estudios realizados en contaminación del suelo y pastos con mercurio y plomo.....	52
4.3.1. Evaluación del contenido de mercurio en suelos y lechos de quebradas en la zona minera de Miraflores, Quinchía, Colombia.....	52
4.3.2. Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera.....	53
4.3.3. Rehabilitación de suelos contaminados con mercurio: estrategias	

	150
aplicables en el área de Almadén.....	54
4.3.4. Presencia de metales pesados en hatos lecheros de los municipios de San Pedro y Entreríos, Antioquia, Colombia.....	55
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	58
5.1. Materiales.....	58
5.1.1. Transporte y movilización.....	58
5.1.2. Materiales y equipos de oficina.....	58
5.1.3. Materiales y equipos de campo.....	58
5.2. Métodos.....	59
5.2.1. Ubicación política y geográfica del área de estudio.....	59
5.2.2. Aspectos biofísicos y climáticos.....	61
5.2.2.1. Cobertura vegetal.....	61
5.2.2.1.1. Bosque siempre verde piemontano.....	61
5.2.2.2. Fauna.....	62
5.2.2.3. Clima.....	62
5.2.2.3.1. Muy Húmedo Subtropical (M H St).....	63
5.2.2.4. Hidrología.....	63
5.2.2.5. Suelo.....	64
5.2.2.6. Geología.....	64
5.2.3. Tipo de investigación.....	65
5.2.4. Metodología para el primer objetivo específico.....	65
5.2.4.1. Visita al MAE.....	65
5.2.4.2. Diagnóstico en campo.....	66
5.2.4.3. Caracterización del área de influencia directa.....	66
5.2.4.4. Establecer el ciclo del proceso de extracción minera.....	67

5.2.4.4.1. Entrevista al administrador de la compañía minera.....	67
5.2.4.4.2. Visita de campo y registro fotográfico.....	67
5.2.5. Metodología para el segundo objetivo específico.....	68
5.2.5.1. Selección del área a muestrear.....	68
5.2.5.2. Tipo de muestreo.....	68
5.2.5.3. Área de muestreo.....	68
5.2.5.4. Parámetros a analizar.....	69
5.2.5.5. Tipo y número de muestra a tomar.....	69
5.2.5.6. Profundidad de muestras a tomar.....	70
5.2.5.7. Cantidad de muestra a tomar.....	70
5.2.5.8. Tipo de recipiente.....	70
5.2.5.9. Recolección de muestras.....	70
5.2.5.10. Etiquetado de muestras.....	74
5.2.5.11. Cadena de custodia.....	75
5.2.5.12. Envío de muestras al laboratorio.....	75
5.2.5.13. Análisis de resultados de laboratorio.....	75
5.2.5.14. Diseño estadístico.....	76
5.2.6. Metodología para el tercer objetivo específico.....	77
5.2.6.1. Parámetros a analizar.....	77
5.2.6.2. Cantidad de muestra a tomar.....	77
5.2.6.3. Tipo de recipiente.....	77
5.2.6.4. Recolección de muestras.....	77
5.2.6.5. Etiquetado de muestras.....	80
5.2.6.6. Cadena de custodia.....	80
5.2.6.7. Envío de muestras al laboratorio.....	80

	152
5.2.6.8. Análisis de resultados de laboratorio.....	81
6. RESULTADOS.....	82
6.1. Verificar en campo el proceso de remediación del suelo en áreas del barrio Puente Azul en donde se han realizado actividades de extracción aurífera.....	82
6.1.1. Visita al MAE.....	82
6.1.2. Diagnóstico en campo.....	83
6.1.3. Caracterización del área de influencia directa.....	85
6.1.4. Proceso de extracción minera aurífera.....	86
6.1.4.1. Desmantelamiento de la cobertura vegetal y capa arable.....	86
6.1.4.2. Extracción del material.....	87
6.1.4.3. Lavado del material.....	88
6.1.4.4. Liquidación del material procedente de las clasificadoras.....	90
6.1.4.5. Fundición del oro.....	91
6.1.4.6. Recuperación del área donde se extrajo el oro.....	91
6.1.5. Ciclo del proyecto (explotación).....	93
6.2. Conocer el nivel de remediación del suelo contaminado por mercurio y plomo a distintas profundidades en el barrio Puente Azul donde se han realizado actividades de extracción aurífera.....	94
6.2.1. Mapa de ubicación de puntos de muestreo. ....	94
6.2.2. Información adicional del sitio de estudio.....	96
6.2.3. Cadena de custodia.....	98
6.2.4. Resultado del análisis.....	101
6.2.5. Diseño estadístico.....	103
6.2.5.1. Proceso.....	103

	153
6.2.5.1.1. Parámetro mercurio.....	103
6.2.5.1.2. Parámetro plomo.....	103
6.2.5.1.3. Parámetro pH.....	105
6.2.5.1.4. Parámetro conductividad.....	106
6.2.5.1.5. Parámetro materia orgánica.....	107
6.2.5.2. Interpretación.....	108
6.3. Evaluar el contenido de mercurio y plomo en pastos sembrados en áreas que han recibido un proceso de remediación.....	108
6.3.1. Información adicional del sitio de estudio.....	108
6.3.2. Cadena de custodia.....	109
6.3.3. Resultado del análisis.....	111
7. DISCUSIÓN.....	112
7.1. Verificar en campo el proceso de remediación del suelo en áreas del barrio Puente Azul en donde se han realizado actividades de extracción aurífera.....	112
7.2. Conocer el nivel de remediación del suelo contaminado por mercurio y plomo a distintas profundidades en el barrio Puente Azul donde se han realizado actividades de extracción aurífera.....	113
7.3. Evaluar el contenido de mercurio y plomo en pastos sembrados en áreas que han recibido un proceso de remediación.....	116
8. CONCLUSIONES.....	118
9. RECOMENDACIONES.....	120
10. BIBLIOGRAFÍA.....	121
11. ANEXOS.....	128

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Criterios de Remediación (Valores Máximos Permisibles).....	49
<b>Tabla 2.</b> Especies de flora del bosque siempre verde piemontano.....	61
<b>Tabla 3.</b> Especies de aves y mamíferos.....	62
<b>Tabla 4.</b> Interpretación de materia orgánica.....	76

## Índice de Cuadros

<b>Cuadro 1.</b> Caracterización del área de influencia directa.....	85
<b>Cuadro 2.</b> Información adicional del sitio de estudio.....	96
<b>Cuadro 3.</b> Cadena de custodia (suelo).....	99
<b>Cuadro 4.</b> Resultado de análisis de muestras de suelo.....	101
<b>Cuadro 5.</b> Resumen de resultado de análisis.....	101
<b>Cuadro 6.</b> Datos promedios del plomo de dos tratamientos en tres profundidades.....	104
<b>Cuadro 7.</b> Análisis de varianza (plomo).....	104
<b>Cuadro 8.</b> Datos promedios del pH de dos tratamientos en tres profundidades.....	105
<b>Cuadro 9.</b> Análisis de varianza (pH).....	105
<b>Cuadro 10.</b> Datos promedios de la conductividad de dos tratamientos en tres profundidades.....	106
<b>Cuadro 11.</b> Análisis de varianza (conductividad).....	106
<b>Cuadro 12.</b> Datos promedios del % de materia orgánica de dos tratamientos en tres profundidades.....	107
<b>Cuadro 13.</b> Análisis de varianza (% materia orgánica).....	107
<b>Cuadro 14.</b> Cadena de custodia (pasto).....	110
<b>Cuadro 15.</b> Resultado del análisis de muestras de pasto.....	111

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Área de muestreo.....	69
<b>Figura 2.</b> Ciclo de vida del proyecto de pequeña minería (explotación).....	93

## Índice de Mapas

<b>Mapa 1.</b> Ubicación del área de investigación en el barrio Puente Azul.....	60
<b>Mapa 2.</b> Ubicación de puntos de muestreo.....	95

## Índice de Fotografías

<b>Foto 1.</b> Entrevista al coordinador de la Unidad de Calidad Ambiental del Ministerio del Ambiente.....	65
<b>Foto 2.</b> Aplicación de la lista de chequeo en campo a la Compañía Constructora y Minera Chamba & Mendieta, Asoc.....	66
<b>Foto 3.</b> Observación en campo y toma de datos que fortalecen la investigación.....	67
<b>Foto 4.</b> En el área de muestreo retirando la cobertura vegetal.....	71
<b>Foto 5.</b> Excavando en uno de los puntos de muestreo.....	71
<b>Foto 6.</b> Separando manualmente fracciones gruesas como piedras, hiervas, otros.....	72
<b>Foto 7.</b> Pesado de muestras en su respectivo recipiente ya etiquetado.....	72
<b>Foto 8.</b> Muestras de suelo colocadas en la hielera (cooler).....	73
<b>Foto 9.</b> Pesado de muestras de pasto en su totalidad.....	78
<b>Foto 10.</b> Colocación de la muestra de pasto en su respectivo envase ya etiquetado.....	79
<b>Foto 11.</b> Muestras de pasto colocadas en la hielera (cooler).....	79
<b>Foto 12.</b> Aglomerado de la cobertura vegetal y capa arable desmantelada en el área donde se están desarrollando actividades mineras auríferas.....	87
<b>Foto 13.</b> Excavación y extracción del subsuelo, cuya profundidad es de aproximadamente 30 metros.....	88
<b>Foto 14.</b> Colocación del material (subsuelo) en la tolva de la clasificadora tipo Z.....	89
<b>Foto 15.</b> Lavado del material (subsuelo) a presión de agua.....	89

- Foto 16.** Subsuelo colocado nuevamente en el área donde se realizó la actividad minera aurífera..... 92
- Foto 17.** Área revegetada donde se realizaron anteriormente actividades de pequeña minería aurífera..... 92