UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA BIOLÓGICA

TITULACIÓN DE INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL

Determinación de metales pesados en especies vegetales de una área explotada por la minería aurífera en el sector de La Pangui-Zamora Chinchipe.

Trabajo de fin de titulación

AUTOR: Armijos Armijos, Karina

DIRECTOR: Armijos Riofrio, Chabaco Patricio, Dr.

LOJA-ECUADOR

2015

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

Doctor
Chabaco Patricio Armijos Riofrio
DOCENTE DE LA TITULACION

De mi consideración:

El presente trabajo de fin de titulación: "**Determinación de metales pesados en especies vegetales de una área explotada por la minería aurífera en el sector de La Pangui-Zamora Chinchipe**" realizado por Karina Armijos Armijos, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, marzo de 2015

_____

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

"Yo ARMIJOS ARMIJOS KARINA declaro ser autora del presente trabajo de fin de titulación: **Determinación de metales pesados en especies vegetales de una área explotada por la minería aurífera en el sector de La Pangui-Zamora Chinchipe**, de la Titulación de Ingeniero en Gestión Ambiental, siendo Chabaco Patricio Armijos Riofrío director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

Armijos Armijos, Karina
1104859572

DEDICATORIA

El presente informe de trabajo de fin de titulación, lo dedico con mucha gratitud y sobre todo amor a mis padres que han sido el pilar fundamental para su realización.

A mis hermanos y cuñado que siempre me han apoyado brindándome su confianza y consideración.

Y de manera muy especial a mi hija ya que ha sido mi motor fundamental de lucha y esfuerzo.

Karina Armijos Armijos

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a la Universidad Técnica Particular de Loja, titulación de Gestión Ambiental, ya que me brindó la oportunidad de obtener mi título profesional así como también al Departamento de Química Aplicada.

Al Dr. Chabaco Armijos director del Trabajo de Fin de Titulación, al Ing. James Calva parte fundamental en la fase de laboratorio que me supieron brindar su guía y conocimientos.

Y de manera muy especial a mis padres por su paciencia y apoyo incondicional.

Karina Armijos Armijos

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA. i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS iii
DEDICATORIA iv
AGRADECIMIENTO v
ÍNDICE DE CONTENIDOS vi
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS viii
RESUMEN 1
ABSTRACT 2
INTRODUCCIÓN 3
CAPITULO I 5
1. MARCO TEÓRICO 5
1.1. ¿Qué es minería artesanal? 6
1.2. Biotecnología 6
1.2.1. Biorremediación ventajas y desventajas. 6
1.2.1.1. Biorremediación de suelos. 7
1.2.2. Fitorremediación. 8
1.2.2.1. Mecanismos de fitorremediación. 8
1.2.2.2. Fases de la fitorremediación. 10
1.2.2.3. Plantas utilizadas para fitorremediación. 10
1.3. Índices para determinación de diversidad. 11
CAPITULO II 14
2. MATERIALES Y MÉTODOS 14
2.1. Área de estudio 15
2.1.1. Ubicación geográfica. 15
2.1.2. Acceso. 15
2.1.3. Topografía y clima. 15
2.1.4. Hidrografía 16
2.2. Delimitación de la zona de estudio 16
2.3. Procedimiento para la recolección 18
2.4. Determinación de metales pesados 18
2.4.1. Procedimiento para determinación de metales pesados en materia vegetal. 19

CAPITULO III 21
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 21
3.1. Especies obtenidas 22
3.2. Diversidad de especies 23
3.3. Índice de similitud de las especies 24
3.4. Análisis de Metales Pesados 25
CONCLUSIONES 28
RECOMENDACIONES 29
BIBLIOGRAFÍA 30
ANEXOS 31

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

Tabla 1.Clasificación taxonómica..... 22
Tabla 2. Índices de diversidad de las tres zonas..... 23
Tabla3. Índice de similitud..... 24
Tabla 4. Zona Intervenida: Resultados de metales pesados..... 25
Tabla 5. Zona en recuperación: Resultados de metales pesados 26
Tabla 6. Zona Natural: Resultados de metales pesados..... 26

FIGURAS

Figura 1. Mecanismos de fitorremediación. 10
Figura 2. Ubicación geográfica de la zona de estudio, La Pangui 16
Figura 3. Zona no intervenida..... 17
Figura 4. Zona en Recuperación..... 17
Figura 5. Zona Intervenida..... 18

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el sector “La Pangui” perteneciente a la Provincia de Zamora Chinchipe, entre los meses de Enero hasta Julio del 2014, con el objetivo dedeterminar la presencia de metales pesados (Cu, Pb, Fe, Cd, Hg, y As) en especies vegetales de terrenos usados en la industria minera. El trabajo de campo se realizó en tres zonas de estudio, una zona natural (ZN), otra intervenida (ZI) y en recuperación (ZR).

El contenido de metales pesados se lo determinó mediante espectrofotometría de absorción atómica. Se reportan los valores para los metales mencionados que han sido determinados en las diferentes partes de la planta (hojas, tallo y raíz). Se han podido determinar especies con características bioacumuladoras de las familias (*Cyathea tortuosa),* Melastomataceae *(Miconia sp),* Apocynaceae *(Mandevilla callista)* y de las Poaceae *(Pennisetum peruvianum)* por la capacidad de acumular ciertos metales.

Palabras claves: Arsénico; bioacumulación; cobre; cadmio; fitorremediación; hierro; mercurio; plomo.

ABSTRACT

This research was performed in mining area “La Pangui” located in Zamora Chinchipe Province, from January to July 2014, in order to identify the existence and concentration of heavy metals the like Cu, Pb, Fe, Cd, Hg in plant species. The Fieldwork considers three investigation areas that are: a Natural Zone (ZN), Intervened Zone (ZI) and a Recovery Zone (ZR).

The concentration of heavy metals in plant species, was determined by atomic absorption spectrophotometry. Values for heavy metals were found in different plant´s parts like: leaves, stem and roots. Also, could be determined bioacumuladoras species, such as: family of Cyatheaceae (tortuous Cyathea), Melastomataceae (Miconia sp), Apocynaceae (Mandevilla pedicure) and Poaceae (Pennisetum peruvianum), It could be used for soils phytoremediation.

Keywords: arsenic; bioaccumulation; copper; cadmium; phytoremediation; iron; mercury; lead.

INTRODUCCIÓN

La actividad minera produce prosperidad en las zonas donde se lleva a cabo, sin embargo, tiene un gran impacto ambiental, debido a la destrucción de los suelos naturales y transformación de suelos, los cuales presentan fuertes limitaciones físicas, químicas y biológicas que dificultan el desarrollo de la vegetación.

La contaminación constituye uno de los aspectos más importantes en la degradación de los suelos. La calidad de un suelo, es decir, su capacidad para sostener efectivamente el crecimiento de las plantas y otros organismos, puede verse afectada negativamente por la contaminación. (Maqueda, 2003).

Por otra parte, así como hay elementos metálicos que son componentes esenciales para los organismos vivos, las deficiencias o excesos de ellos pueden ser muy perjudiciales para la vida. En el medio natural los excesos pueden generarse por drenajes de aguas de minas, de desmontes o de relaves mineros. Algunos metales, como cadmio y mercurio, y metaloides como arsénico, los cuales son muy comunes en pequeñas cantidades en depósitos metálicos son altamente tóxicos, aun en pequeñas cantidades, particularmente en forma soluble, la cual puede ser absorbida por los organismos vivos.

Los metales no se degradan, así que pueden acumularse provocando efectos adversos en la mayoría de los organismos. Las tecnologías tradicionales de remediación requieren remover físicamente el suelo contaminado, debido a esto surge la necesidad de utilizar técnicas alternas como la biorremediación, la cual promueve los procesos naturales para acelerar la recuperación de suelos, como lo es la fitorremediación, que se basa en el uso de una especie de plantas llamadas metalofitas que han desarrollado mecanismos fisiológicos para resistir, tolerar y sobrevivir en suelos con altos niveles de metales (Ortega*, et al*., 1989). Las plantas denominadas fitorremediadoras, poseen como atributos ideales la capacidad de acumular los metales de interés, en la parte superior de la planta; son tolerantes a la concentración del metal acumulado, crecen rápido y generan elevada producción de biomasa.

Las metalofitas son especies de plantas que han desarrollado los mecanismos fisiológicos para resistir, tolerar y sobrevivir en suelos con altos niveles de metales y, por ello, son endémicas de suelos con afloramientos naturales de minerales metálicos. A pesar de que esas plantas se conocían ya antes de los años de la década de 1970, no llamaron la

atención de la mayoría de los científicos hasta casi una década después (Ortega, et al., 1989).

La minería en el Ecuador se remonta a partir de las primeras comunidades que se formaron en las distintas partes de los territorios ecuatorianos, su ubicación dentro del cinturón metalogénico de la Cordillera de los Andes, constituye una gran reserva geológica de minerales metálicos y no metálicos. Sin embargo en el Ecuador no ha tenido injerencia alguna en el entorno mundial minero ya que no ha desarrollado su minería industrial y prolifera la minería aurífera en pequeña escala. (Aguirre, 2006)

En La Pangui-Zamora Chinchipe con la presente investigación se espera conocer algunas especies vegetales que sean útiles para la biorremediación basándose en la acumulación de metales pesados que éstas presenten. Así mismo, al realizar composición florística se procederá a determinar qué especies convendrían reinsertar en el sector para obtener un cierto grado de regeneración en el mismo.

- **OBJETIVOS**

General:

- ✓ Determinar la presencia de metales pesados en especies vegetales en terrenos usados en la industria minera en la provincia de Zamora Chinchipe sector La Pangui.

Específicos:

- ✓ Conocer la composición florística en lugares que ha sido destinados a la explotación minera y analizar su posible efecto en la bioacumulación de metales pesados.

- ✓ Determinar la presencia de Hg, Pb, Cu, Fe, Cd, As., en especies vegetales.

- ✓ Proponer acciones que conduzcan a la regeneración de áreas que han sido sometidas a explotación usando especies vegetales como agentes de descontaminación.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. ¿Qué es minería artesanal?

El art. 134 de la ley de Minería considera como minería artesanal y de sustento a aquella "que se efectúa mediante trabajo individual, familiar o asociativo de quien realiza actividades mineras autorizadas por el Estado en la forma prevista en esta ley y su reglamento que se caracteriza por la utilización de herramientas, maquinas simples y portátiles destinadas a la obtención de minerales cuya comercialización solo permite cubrir las necesidades básicas de la persona o grupo familiar que las realiza y que no hayan requerido una inversión superior a las ciento cincuenta remuneraciones básicas unificadas. En caso de producirse la asociación de tres o más mineros artesanales su sanción será de trescientas remuneraciones básicas unificada". Ley de Minería Ecuador (2009)

1.2. Biotecnología

La Biotecnología es sin duda, una de las áreas tecnológicas clave en el desarrollo industrial contemporáneo. El término biotecnología es considerado como el conjunto de técnicas que utilizan organismos vivientes o sustancias provenientes de éstos para elaborar o modificar un producto, mejorar plantas o animales, o para desarrollar microorganismos para usos específicos. (Corona, 2000).

Existen aplicaciones específicas de la biotecnología. La biorremediación es una de ellas consiste en el proceso de recolección de organismos para resolver problemas del medio ambiente como la contaminación.

1.2.1. Biorremediación ventajas y desventajas.

La biorremediación es una tecnología que utiliza el potencial metabólico de los microorganismos (su capacidad de biodegradación) para limpiar terrenos o aguas contaminadas. Estos microorganismos utilizan su potencial enzimático para mineralizar los compuestos contaminantes o degradarlos hasta productos intermedios, en un ambiente aerobio o anaerobio.

Desde un punto de vista oficial, la academia americana de microbiología define la biorremediación como "la utilización de organismos vivos para reducir o eliminar riesgos medioambientales resultantes de la acumulación de compuestos químicos tóxicos y otros

residuos peligrosos", estas técnicas están aprobadas por varias agencias reguladoras en todo el mundo (Rojas, 2011).

Según Bonilla (2013) entre las ventajas que presenta la biorremediación para el tratamiento de sitios contaminados se encuentran:

- Disminución del costo de operación
- Los contaminantes son destruidos o transformados y normalmente no se requiere de un tratamiento adicional.
- La remediación se puede llevar a cabo in situ o ex situ**.**

Entre algunas desventajas según Torres y Zuluaga (2009) tenemos:

- La biodegradación incompleta puede generar intermediarios metabólicos inaceptables, con un poder contaminante similar o incluso superior al producto de partida y algunos compuestos contaminantes son tan resistentes que pueden incluso inhibir a biorremediación.
- Es difícil predecir el tiempo de requerido para un proceso adecuado y el seguimiento y control de la velocidad y/o extensión del proceso es dispendioso.

1.2.1.1. Biorremediación de suelos.

Esta técnica se basa en favorecer los procesos microbiológicos que de una forma natural se producen en el suelo y que conllevan la degradación de los contaminantes. El objetivo final es conseguirla mineralización de los contaminantes, esto es, transformar los compuestos químicos nocivos en compuestos inocuos, tales como dióxido de carbono, agua, o materia celular.
El tiempo que se utiliza para la transformación, la vida media (tiempo que tarda en transformarse el 50% de un contaminante) de un hidrocarburo varía entre 6 y 230 días.

Según Bonilla (2013) el proceso de biorremediación dependiendo del medio que se utilice para descontaminación del suelo puede clasificarse en:

- Fitorremediación: uso de plantas verdes para remover, contener o neutralizar compuestos orgánicos y metales pesados.

- Biorremediación animal: Uso de animales que tienen la capacidad de desarrollarse en medios altamente contaminados.
- Biorremediación microbiana: Uso de bacterias acumuladoras como hongos, algas, cianobacterias y actinomicetos.

1.2.2. Fitorremediación.

La fitorremediación *(phyto=plantayremediación=malporcorregir),* es un proceso que utiliza plantas para remover, transferir, estabilizar, concentrar y/o destruir contaminantes (orgánicos e inorgánicos) en suelos, lodos y sedimentos, y puede aplicarse tanto in situ como ex situ (Agudelo, Macías& Suárez 2012).
Según Ortega (2007) el uso de plantas para limpiar ambientes contaminados aunque se encuentra en desarrollo, constituye una estrategia muy interesante debido a la capacidad que tienen algunas especies vegetales de absorber, acumular y tolerar altas concentraciones de contaminantes como metales pesados, compuestos orgánicos y radioactivos.

VENTAJAS:

- Las plantas pueden ser utilizadas como entidades extractoras de bajo costo económico para depurar suelos y aguas contaminadas.
- Algunos procesos degradativos ocurren en forma más rápida con plantas que con microorganismos.
- Es un método apropiado para descontaminar superficies grandes o para finalizar la descontaminación de áreas restringidas en plazos largos.

DESVENTAJAS:

- El proceso se limita a la profundidad de penetración de las raíces o aguas poco profundas.
- Los tiempos del proceso pueden ser prolongados.

1.2.2.1. Mecanismos de fitorremediación.

- FITOEXTRACCIÓN: Consiste en la absorción de contaminantes por las raíces, tallos o follaje usando plantas acumuladoras de elementos tóxicos o compuestos orgánicos

para retirarlos del suelo mediante su absorción y concentración en las partes cosechables sin presentar síntomas de toxicidad. La selección de las plantas debe realizarse considerando el tamaño de las raíces, la tasa de crecimiento, acumulación de contaminantes, biomasa y potencial de evapotranspiración. Los pastos, musgos y helechos son el género que presentan mayor adaptabilidad a las diferentes condiciones ambientales y pueden captar gran cantidad de contaminante (Volke Velasco & Pérez, 2005).

- FITOESTABILIZACIÓN: Las plantas tolerantes a metales se usan para reducir la movilidad de los mismos y evitar el pasaje a capas subterráneas o al aire, este tipo de método es propuesto para compuestos fenólicos y compuestos clorados así como en lagunas de desechos de yacimientos mineros (Ortega, 2007).

- FITOINMOVILIZACIÓN: Las plantas captan y modifican metales pesados o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración, este método es aplicado para tratar compuestos como mercurio, selenio y solventes clorados (Ortega, 2007).

- FITOVOLATIZACIÓN: Uso de plantas para eliminar los contaminantes del lugar mediante su volatización y para eliminar contaminantes del aire, se produce a medida que las platas en crecimiento absorben agua junto con los contaminantes orgánicos solubles. Algunos de los contaminantes pueden llegar hasta las hojas y evaporarse o volatilizarse a la atmosfera (Bonilla, 2013).

- FITODEGRADACIÓN: Las plantas acuáticas y terrestres captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos (Phillps, 2014).

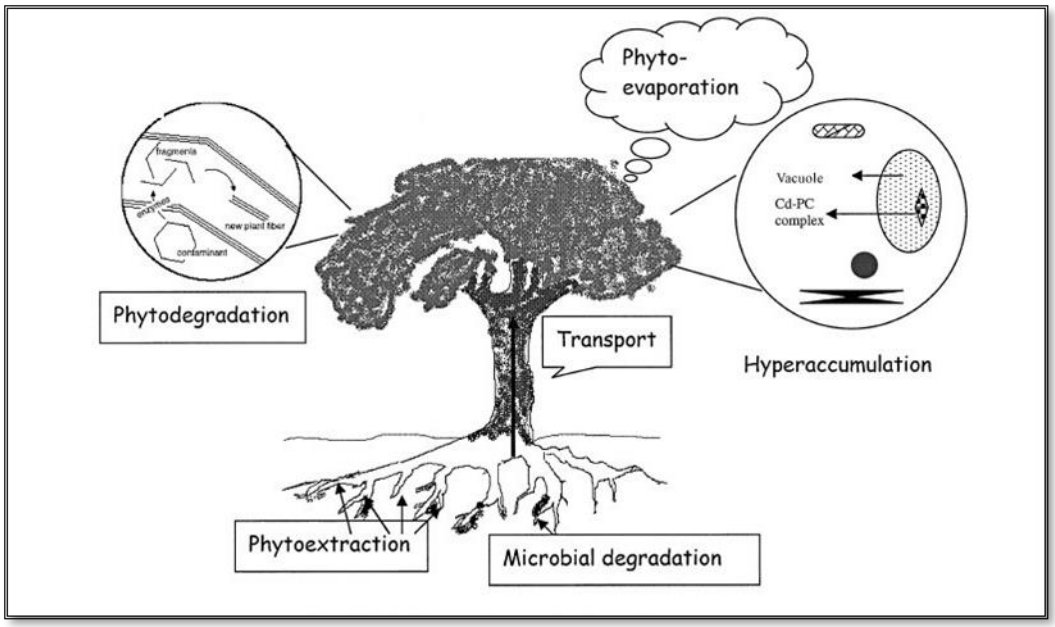

Figura 1. Mecanismos de fitorremediación.
Fuente: (Stragg A. 2001)

1.2.2.2. Fases de la fitorremediación.

Según Bonilla (2013) una planta acumuladora puede realizar cualquiera de los mecanismos de fitorremediación siguiendo tres fases:

- ABSORCIÓN: se realiza a través de las raíces y las hojas mediante los estomas y la cutícula de la epidermis.
- EXCRECIÓN: Los contaminantes que se absorben por las raíces se excretan vía hojas, cuando las concentraciones de los contaminantes son elevadas, solo pequeñas fracciones se excretan sin cambios en su estructura química.
- DESINTOXICACIÓN DE CONTAMINANTES: Se lleva a cabo por la vía de la mineralización hasta dióxido de carbono en el caso de contaminantes químicos orgánicos que se degradan; para altas concentraciones se utiliza la incineración controlada y se desecha las cenizas en los lugares disponibles para este fin.

1.2.2.3. Plantas utilizadas para fitorremediación.

Para realizar la fitorremediación se requiere establecer una cobertura vegetal que sea abundante; sin embargo las elevadas concentraciones de los contaminantes son los que determinan el crecimiento de las plantas, así como la tolerancia que presentan al contaminante conocido como hiper-acumulación.

Las plantas hiper-acumuladoras son capaces de almacenar excesivas cantidades de contaminante en su follaje (>1% del peso seco de la planta), este mecanismo implica alta tolerancia específica a metales pesados, los cuales están presentes en el suelo en concentraciones que normalmente podrían considerarse fitotóxicas.
Entre las familias más comunes que son utilizadas para la fitorremediación basándose en diferentes estudios podemos encontrar las Asteraceaes y las Poaceaes o pastos que son las que en general acumulan mayor cantidad de metales pesados.

1.3. Índices para determinación de diversidad.

Para determinar la diversidad se realizó tres análisis: el índice de Shannon-Wiener, el índice de Simpson, el índice de Margalef.

- El **índice de Shannon-Wiener** se usa en ecología u otras ciencias similares para medir la biodiversidad. Este índice se representa normalmente como H' y se expresa con un número positivo, que en la mayoría de los ecosistemas naturales varía entre 0 y No tiene límite superior o en todo caso lo da la base del logaritmo que se utilice. Los ecosistemas con mayores valores son los bosques tropicales y arrecifes de coral, y los menores las zonas desérticas. Las mayores limitaciones de este índice es que no tiene en cuenta la distribución de las especies en el espacio y No discrimina por abundancia, por lo que está en desuso.

La fórmula del índice de Shannon es la siguiente:

$$H' = -\sum_{i=1}^{S} p_i \log_2 p_i$$

Dónde:

- S – número de especies (la riqueza de especies)
- p_i – proporción de individuos de la especie *i* respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie *i*): $\frac{n_i}{N}$
- n_i – número de individuos de la especie *i*
- N – número de todos los individuos de todas las especies

De esta forma, el índice contempla la cantidad de especies presentes en el área de estudio (*riqueza de especies*), y la cantidad relativa de individuos de cada una de esas especies (*abundancia*).

- **Índice de diversidad de Simpson** (también conocido como el índice de la diversidad de las especies o índice de dominancia) es uno de los parámetros que nos permiten medir la riqueza de organismos. En ecología, es también usado para cuantificar la biodiversidad de un hábitat. Toma un determinado número de especies presentes en el hábitat y su abundancia relativa. El índice de Simpson representa la probabilidad de que dos individuos, dentro de un hábitat, seleccionados al azar pertenezcan a la misma especie.

La fórmula para el índice de Simpson es:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{S} n_i(n_i - 1)}{N(N-1)}$$

Dónde:

- *S* es el número de especies
- *N* es el total de organismos presentes (o unidades cuadradas)
- *N* es el número de ejemplares por especie

El índice de Simpson fue propuesto por el británico Edward H. Simpson en la revista *Nature* en 1949(Cerón, 2005).

- **El Índice de Margalef:** o índice de biodiversidad de Margalef, es una medida utilizada en ecología para estimar la biodiversidad de una comunidad con base a la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies en función del número de individuos existentes en la muestra analizada.

El índice de Margalef tiene la siguiente expresión I=(s-1)/Ln N, donde I es la biodiversidad, s es el número de especies presentes, y N es el número total de individuos encontrados (pertenecientes a todas las especies). La notación Ln denota el logaritmo neperiano de un número.

Valores inferiores a 2,0 son considerados como relacionados con zonas de baja biodiversidad (en general resultado de efectos antropogénicos) y valores superiores a 5,0 son considerados como indicativos de alta biodiversidad.

- **El índice de Sorensen (I_S)** es un índice estadístico que mide la similitud, disimilitud o distancias entre dos estaciones de muestreo.

Su fórmula es:

$$QS = \frac{2C}{A+B} = \frac{2n(A \cap B)}{n(A)+n(B)}$$

Dónde:

- a: número de especies en la estación A
- b: número de especies en la estación B
- c: número de especies presentes en ambas estaciones, A y B

El índice de Sorensen mientras más se acerca a 1 tiene más similitud y viceversa.

CAPITULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

La zona minera La Pangui, forma parte del campo minero Chinapintza la cual está ubicada dentro del distrito minero de Zamora Chinchipe, nace en la Cordillera del Cóndor, cadena montañosa oriental de la cordillera de los Andes cuyas crestas forman la frontera internacional entre Ecuador y Perú.

2.1.1. Ubicación geográfica.

La Pangui se ubica al Sureste de Nuevo Quito, parroquia del cantón Paquisha, provincia de Zamora Chinchipe, Ecuador (Figura 2).

2.1.2. Acceso.

Desde la ciudad de Loja el acceso a la Pangui se lo realiza vía terrestre con un recorrido de 145km aproximadamente los tramos que comprende esta carretera son: de Loja a Zamora 57km, de Zamora a Zumbi 35km, de Zumbi a Paquisha 18km y finalmente de Paquisha a La Pangui un tramo de 35km. Dependiendo de las condiciones climatológicas y de la carretera el viaje toma aproximadamente de tres a cuatro horas y se recomienda utilizar un vehículo 4 x 4.

2.1.3. Topografía y clima.

La Pangui está ubicada en la región amazónica del suroeste de Ecuador en las laderas occidentales de la Cordillera del Cóndor, cuyas crestas definen la frontera Ecuador-Perú. Presenta un relieve muy accidentado propio de la región montañosa de la Cordillera Oriental con pendientes fuertes e irregulares (Chinapintza Gold Project, 2013), se encuentra a una elevación de 1407 msnm.

Presenta un clima cálido tropical, típico de zonas situadas a alturas entre 250 y 1800 msnm en la parte amazónica de los Andes, las temperaturas diarias van de un rango de 18 ºC y 29 ºC. Recibe precipitaciones durante todo el año siendo los meses más lluviosos entre febrero y abril y el mes más seco diciembre, generalmente la zona es muy nublada, especialmente en la época de lluvia. La humedad promedio es de 80%. La accidentada orografía presenta montañas cubiertas de densa vegetación, típica de bosques tropicales (Chinapintza Gold Project, 2013).

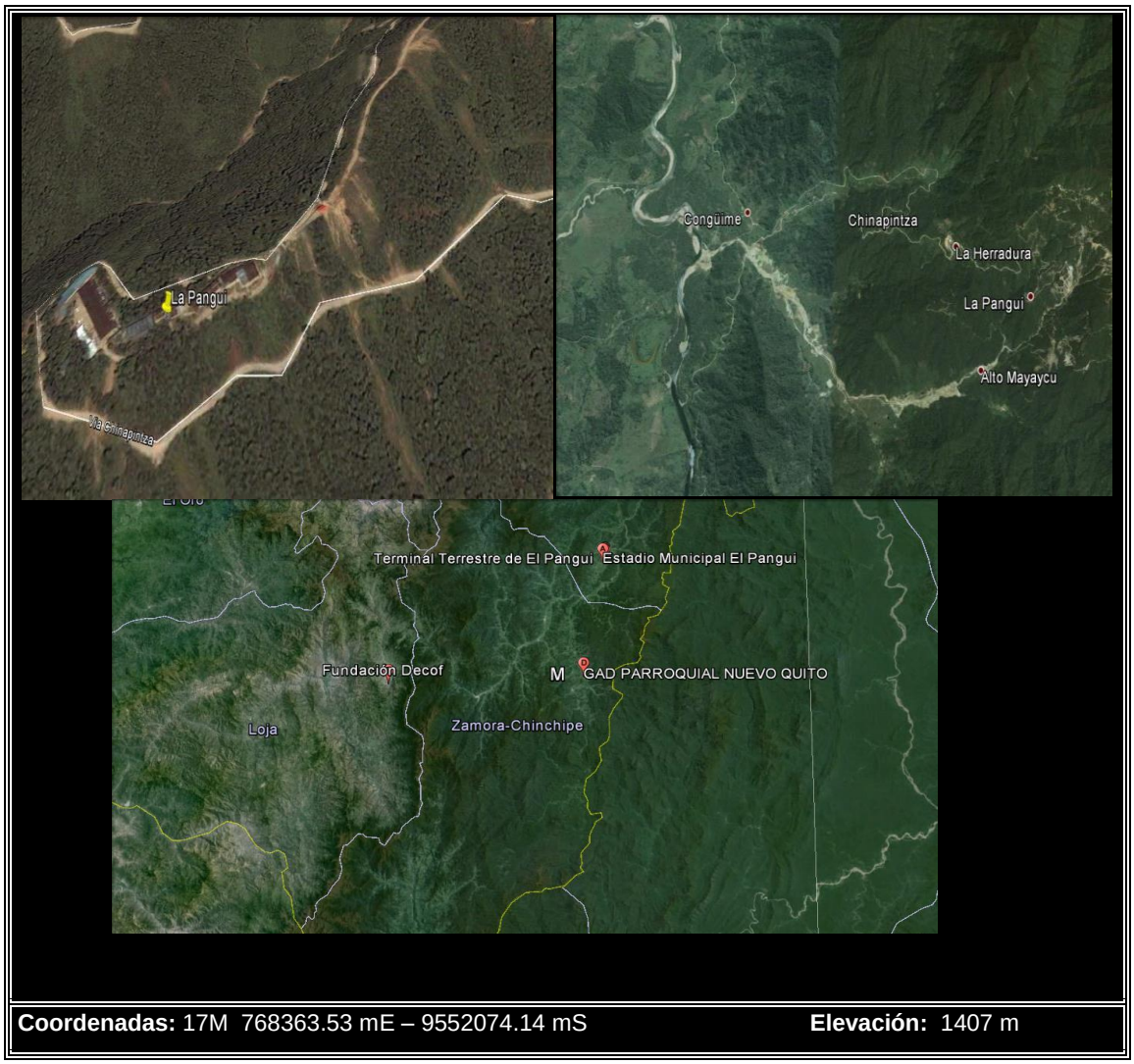

Figura 2. Ubicación geográfica de la zona de estudio, La Pangui
Fuente:Google Earth

2.1.4. Hidrografía.

El sistema hídrico de la zona se deriva de la quebrada Conguime, cuyas vertientes nacen al pie de la Cordillera del Cóndor y desembocan en el rio Nangaritza. Las quebradas presentes en la zona de estudio son de tipo dendrítico, estas se presentan caudalosas durante el periodo febrero-abril debido a las fuertes lluvias (Chinapintza Gold Project, 2013).

2.2. Delimitación de la zona de estudio

Para la determinación de las zonas de estudio en La Pangui se tomó en cuenta el nivel de intervención u explotación minera que estas han tenido, determinando así tres zonas.

- ZONA NO INTERVENIDA: para la delimitación de esta zona se tomó en cuenta una zona distante de la zona intervenida que se encontraba en su estado natural hasta la fecha que se realizó la investigación.

Figura 3. Zona no intervenida
Fecha de captura: 07/03/2014

- ZONA EN RECUPERACION: en esta zona se realizaba trabajos de explotación sin embargo, fue abandonada hace algunos años. La gráfica cuatro nos muestra el estado de la misma cuando se recolecto las muestras.

Figura 4. Zona en Recuperación
Fecha de captura: 07/03/2014

- ZONA INTERVENIDA: en esta zona se puede evidenciar claramente el nivel de intervención que presenta sin embargo, en la actualidad esta es una escombrera abandonada. (Gráfico 5)

Figura 5. Zona Intervenida
Fecha de captura: 07/03/2014

2.3. Procedimiento para la recolección

Para la recolección de las muestras se realizaron transectos en cada zona de estudio los cuales comprenden 50 metros x 2 metros a cada lado, siguiendo la metodología establecida por Cerón (2005).

En la recolección se procedió a tomar una muestra de las especies más representativas de cada zona, las cuales fueron transportadas en fundas herméticas para su identificación taxonómica**.**

Para determinar la diversidad florística en las zonas de estudio se aplicó análisis estadísticos como: el Índice de Shannon Wiener, Simpson, Margalef; y para analizar la similitud que existe entre las zonas se utilizó el índice de similitud de Sorensen, según Mostacedo (2000).

2.4. Determinación de metales pesados

Para el análisis de metales pesados se utilizaron especies con mayor densidad poblacional (Padilla et al, 2009), se eligieron las ocho más representativas, ya que en la zona intervenida que era la de mayor conflicto, se encontró ese número de individuos, para las otras zonas se colecto igual número de especies para hacer una comparación, con lo cual se analizó un total de 24 plantas.

Para la determinación de los metales pesados es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

- Que el peso de la muestra sea de cinco gramos en hojas frescas, si las muestras están secas se debe pesar dos gramos, esto en consideración que el porcentaje de humedad de las plantas y el peso del agua ha disminuido en un 70% el peso de la muestra. (Hernandez, 2002)
- Se van a hacer tres repeticiones por cada planta en donde se analizará la raíz y la parte aérea por separado.
- En algunos casos como especies de la familia Poaceae (pastos) y Asteraceae (enredaderas), que no poseen la cantidad suficiente de parte radicular para pesar los dos gramos necesarios, se tendrá las siguientes prevenciones:

    - ✓ Si las raíces no son suficientes para conseguir el peso necesario se tomará parte del tallo cerca de la zona radicular, para completar el peso.
    - ✓ Si las hojas no tienen el suficiente peso se tomara parte de las ramas que están cerca de las hojas.

Se realizó tres análisis por cada especie vegetal lo que dio un total de 72 muestras analizadas.

El análisis se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica para determinar la cantidad de metales que contenía cada especie; los metales analizados fueron: plomo, arsénico, cobre, cadmio y mercurio, ya que estos son los que han causado un gran impacto ambiental en el Ecuador (Dos Santos, 2006).

2.4.1. Procedimiento para determinación de metales pesados en materia vegetal.

Para la determinación de metales pesados se utilizó la metodología expuesta en el libro de métodos analíticos para absorción atómica en tejidos vegetales, en el cual primeramente se pesa 2 gramos de muestra en seco, se coloca en un crisol para llevarlo a la mufla a una temperatura de 500 ° C para proceder a su incineración durante 3 horas. Seguido de esto se procede a enfriar la muestra en un desecador por 30 min, agregar 30 ml de solución de ácido clorhídrico relación 1:1 y proceder a aforar en un balón de 100 ml con agua destilada, una vez disuelto se pasa la solución por un papel filtro para luego tomar 1 ml de la solución y llevarlo a un balón de 100 ml el cual va a ser aforar con agua destilada (The Perkin-Elmer Corporation, 1996).

Una vez realizado este procedimiento se realiza la lectura de los metales en el equipo de espectrofotometría de absorción atómica, para lo cual se usaron estándares de acuerdo al metal: para As 25-50-100 ug/l, Fe 0.5-1-1.5 mg/l, Pb 0.5-1-2 mg/l, Cd 0.05-0.25-0.5 mg/l, Cu 0.4-0.8-1.2 mg/l, y Hg 100-200-300 ug/ml.

NOTAS:

Cuando las concentraciones de los metales analizados en cada muestra eran demasiado elevadas, se realizó factores de solución.

La fórmula que se utiliza para la concentración final es:

$$Cf = \frac{\mathrm{C} * V * Fd}{W}$$

Dónde:

C= Es la concentración del elemento en la solución de la muestra (medida que da el espectrómetro de absorción atómica)

V= es el volumen de la solución de la muestra sin diluir

W= Peso de la muestra.

Fd= Factor de disolución (solamente en el caso de que la muestra haya tenido una concentración muy alta para el equipo) el cual se utiliza como se describe a continuación:

$$F.d = \frac{volumen\ de\ la\ solucion\ de\ muestra\ diluida}{volumen\ de\ alícuota\ tomada\ para\ dilución}$$

Para todas las especies vegetales analizadas se aplicó el mismo procedimiento ya citado, sin embargo, el método de detección varía de acuerdo al metal; para al plomo y arsénico se aplicó el método Furnace o de Horno, al mercurio, se le trato con el método de Generador de Hidruros, y al hierro, cobre y cadmio se le hizo el método de llama; a todos ellos con el Espectrómetro de Absorción Atómica.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Especies obtenidas

Para determinar las especies obtenidas en el muestreo inicial se realizó una clasificación taxonómica (familia, género y especie) por zona la cual se detallan en la tabla número uno.

Tabla 1.Clasificación taxonómica.

ZONA INTERVENIDA (Z.I)							
Nro. Muestra	Zona	Familia	Genero	Especie	Nro. individuos	Densidad	Densidad relativa
1	Z.I	Apocynaceae	*Mandevilla*	*callista*	12	0,12	15,00
2	Z.I	Araceae	*Anturium*	*trumcicola*	3	0,03	3,75
3	Z.I	Cyatheaceae	*Cyathea*	*tortuosa*	9	0,09	11,25
4	Z.I	Cyclanthaceae	*Asplundia*	*sp*	10	0,1	12,50
5	Z.I	Ericaceae	*Sphyrospermum*	*cordifolium*	11	0,11	13,75
6	Z.I	Ericaceae	*Sphyrospermum*	*longifolium*	8	0,08	10,00
7	Z.I	Ericaceae	*Cavendishia*	*nobilis*	9	0,09	11,25
8	Z.I	Lycopodiaceae	*Lycopodium*	*clavatum*	5	0,05	6,25
9	Z.I	Melastomataceae	*Miconia*	*sp*	10	0,1	12,50
10	Z.I	Sapindaceae	*Paullinia*	*alata*	3	0,03	3,75
ZONA EN RECUPERACIÓN (Z.R)							
Nro. Muestra	Zona	Familia	Genero	Especie	Nro. individuos	Densidad	Densidad relativa
1	Z.R	Apocynaceae	*Mandevilla*	*callista*	15	0,15	10,87
2	Z.R	Araceae	*Anturium*	*trumcicola*	11	0,11	7,97
3	Z.R	Asteraceae	*Lepidaploa*	*sp*	5	0,05	3,62
4	Z.R	Asteraceae	*Philodendron*	*guttiferum*	9	0,09	6,52
5	Z.R	Asteraceae	*Erato*	*polymnioides*	3	0,03	2,17
6	Z.R	Campanulaceae	*Centropogon*	*sp*	16	0,16	11,59
7	Z.R	Lamiaceae	*Hyptis*	*obtusiflora*	17	0,17	12,32
8	Z.R	Melastomataceae	*Tibouchina*	*lepidota*	20	0,2	14,49
9	Z.R	Melastomataceae	*Miconia*	*sp*	10	0,1	7,25
10	Z.R	Poaceae	*Pennisetum*	*peruvianum*	12	0,12	8,70
11	Z.R	Pteridaceae	*Pityrogramma*	*sp*	15	0,15	10,87
12	Z.R	Sapindaceae	*Paullinia*	*alata*	5	0,05	3,62
ZONA NATURAL (Z.N)							
Nro. Muestra	Zona	Familia	Genero	Especie	Nro. individuos	Densidad	Densidad relativa
1	Z.N	Araceae	*Anthurium*	*triphyllum*	19	0,19	7,09
2	Z.N	Araceae	*Anturium*	*cuspidatum*	7	0,07	2,61
3	Z.N	Araceae	*Anturium*	*trumcicola*	20	0,2	7,46
4	Z.N	Asteraceae	*Erato*	*polymnioides*	3	0,03	1,12
5	Z.N	Asteraceae	*Lepidaploa*	*canescens*	5	0,05	1,87
6	Z.N	Cyatheaceae	*Cyathea*	*caracasana*	25	0,25	9,33
7	Z.N	Cyclanthaceae	*Sphaeradenia*	*sp*	15	0,15	5,60
8	Z.N	Gesneriaceae	*Pearcea*	*sp*	25	0,25	9,33
9	Z.N	Gesneriaceae	*Alloplectus*	*hispidus*	9	0,09	3,36
10	Z.N	Gesneriaceae	*Besleria*	*barbata*	10	0,1	3,73
11	Z.N	Melastomatacea	*Miconia*	*acalephoides*	13	0,13	4,85
12	Z.N	Melastomatacea	*Miconia*	*sp*	10	0,1	3,73
13	Z.N	Melastomataceae	*Ossaea*	*sp*	23	0,23	8,58
14	Z.N	Melastomataceae	*Blakea*	*sp*	22	0,22	8,21
15	Z.N	Melastomataceae	*Monochaetum*	*lineatum*	15	0,15	5,60
16	Z.N	Myrsinaceae	*Cybianthus*	*resinosus*	16	0,16	5,97
17	Z.N	Rubiaceae	*Palicurea*	*amethystina*	13	0,13	4,85
18	Z.N	Rubiaceae	*Alaeagia*	*sp*	18	0,18	6,72

En la zona intervenida la familia con mayor densidad fue la Ericaceae con tres especies: *Sphyrospermum cordifolium, Sphyrospermum longifolium y Cavendisha nobilis;* seguido por la familia Apocynaceae que presenta una especie *Mandevilla callista.*

En la zona en recuperación la familia con mayor densidad es la Melastomataceae con dos especies representativas: *Tibouchina lepidota y Miconia sp:* seguido por la familiaLamiaceae con una especie: *Hyptis obtusiflora*; otra familia que se destaca es Asteraceae con tres especies representativas: *Lepidaploa sp,Philodendronguttiferum y Erato polymnioides*.

En la zona natural la familia que presenta mayor densidad es la Melastomataceae con cinco especies representativas: *Miconia acalephoides, Miconia sp, Ossaea sp, Blakea sp*, y *Monochaetum lineatum*; seguido de la familia Araceae con tres especies: *Anturium cuspidatum, Anthuriumtriphyllumy Anturium trumcicola:* por último la familia Gesneraceae con tres especies: *Pearcea sp, Alloplectushispidus y Besleriabarbata.*

3.2. Diversidad de especies

Para calcular los índices de diversidad en cada zona muestreada es necesario conocer el número de especies, así como el número de individuos por especie obteniendo losresultados que se detallan en la tabla 2.

Tabla 2. Índices de diversidad de las tres zonas.

ZONA INTERVENIDA	ZONA RECUPERACION	ZONA NATURAL
Riqueza específica	Riqueza específica	Riqueza específica
S =10	S =12	S =18
Índice de Margalef	Índice de Margalef	Índice de Margalef
Dmg =2,0538	Dmg =2,2325	Dmg = 3,0406
Índice de Shannon	Índice de Shannon	Índice de Shannon
H =2,2186	H =2,3760	H =2,7849
Varianza H =0,0009	Varianza H =0,0010	Varianza H =0,0006
Índice de Simpson	Índice de Simpson	Índice de Simpson
D =0,8965	D =0,9068	D =0,9373

De acuerdo al índice de Margalef el cual indica que valores inferiores a 2,0 son relacionados con baja diversidad y valores superiores a 5,0 son considerados como zonas de alta biodiversidad, se concluye que la zona intervenida y la zona en recuperación presenta baja

diversidad, en tanto que la zona natural están sobre los tres puntos por lo que se considera que tiene una biodiversidad media.

El índice de Shannon se lo usó para comparar la diversidad entre zonas, el índice se representa normalmente como H y se expresa con un número positivo, que en la mayoría de los ecosistemas naturales varía entre 1 y 5 (Orellana, 2009), mientras más alto es el número significa que existe mayor índice de diversidad; al analizar los datos se puede decir que la zona natural posee una mayor diversidad en relación a la zona en recuperación y la zona intervenida.

El índice de diversidad de Simpson el cual indica la probabilidad de encontrar dos individuos de especies diferentes en extracciones sucesivas al azar, permite medir la riqueza de organismos por lo que a medida que los valores se acercan a 0 la diversidad decrece, se presenta habitualmente como una medida de la dominancia, por lo tanto entre más aumente el valor a uno, la diversidad aumenta (Orellana, 2009). Con lo explicado anteriormente se puede decir que la zona natural y la zona en recuperación se encuentran sobre los 0,9 puntos es decir que presenta mayor diversidad que la zona intervenida ya que esta se encuentra en los 0,8 puntos

3.3. Índice de similitud de las especies

Para determinar la similitud que existe entre las tres zonas muestreadas, se toma en cuenta las especies que tienen en común las zonas obteniendo así los resultados descritos en la tabla 3.

Tabla3. Índice de similitud

Zona	Especies por zona	Comparación de zonas	Especies compartidas	Índice de similitud
Z. I	10	ZI vs ZR	*4*	0,55
Z. R	12	ZR vs ZN	*3*	*0,75*
Z. N	18	ZN vs ZI	*2*	*0,33*

Cuando se calcula el índice de Sorensen se debe tener en cuenta que mientras el resultado es más cercano a 1 más similares son las zonas (Chao et al., 2009).

Determinando así que la zona de recuperación con relación a la zona intervenida da un resultado de 0,55 por lo que se concluye que estas zonas son medianamente similares. La zona intervenida frente a la zona natural da un valor de 0,33 el cual es bajo por lo que se

concluye que no poseen similitud. Y finalmente la zona en recuperación en relación a la zona natural da un índice de similitud de 0,75 por lo que se concluye que estas zonas son muy similares siendo las familias Melastomataceae, Araceae y Asteraceae, con este análisis podemos determinar que a pesar de la contaminación que se mantienen en la zona de recuperación estas especies han logrado regenerarse.

3.4. Análisis de Metales Pesados

Los metales pesados están considerados como muy peligrosos para los seres vivos en general, pues poseen una gran toxicidad, en parte debido a su elevada tendencia a bioacumularse (Navarro *et al*., 2007), por ende al pasar por las distintas cadenas tróficas esto tiende a agravarse produciendo así una biomagnificación.

Para determinar los Límites Máximos Permisibles (LMP) de estos metales se ha tomado como referencia a Padilla *et al.* (2009) donde menciona los límites para arsénico, cadmio, mercurio y plomo. En cuanto al hierro se tomó como referencia los limites indicados por Serrato et al. (2010) en suelos en su estado natural, y finalmente para contaminación por cobre se hizo una comparación con el criterio y valores estándar de metales pesados en vegetales de la Chinese Food and Health National (Hu*, et,al* 2012).

Con estos antecedentes y una vez realizados los análisis pertinentes en cada especie recolectada, se logró obtener los datos de los metales extraídos y realizar las comparaciones con los límites máximos permisibles para los mismos.

Tabla 4. Zona Intervenida: Resultados de metales pesados.

Especie	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)	Hg (ppm)	Pb (ppm)	As (ppm)
Miconia sp	229,01	8,962	0,149	0,005	1,256	3,299
Cyathea tortuosa	1955,64	26,447	<LDD	0,005	3,879	6,77
Sphyrospermum cordifolium	91,48	1,354	<LDD	0,005	0,603	1,984
Sphyrospermum longifolium	89,54	<LDD	<LDD	0,007	1,151	2,991
Cavendishia nobilis	162,71	3,731	<LDD	0,01	1,732	6,889
Mandevilla callista	287,6	8,985	0,06	0,011	2,007	6,888
Lycopodium clavatum	207,83	8,403	<LDD	0,008	2,095	7,269
Asplundia sp	118,73	5,812	<LDD	0,009	0,664	2,975
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	**70**	**10**	**0,05**	**0,2**	**50**	**6**

Nota: LDD= 0.001 es el límite de detección del equipo.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla cuatro luego de realizar un promedio del análisis de las diferentes partes de la planta (raíz, tallo y hojas) como se explica en el anexo uno, se determinó que todas las especies están por debajo de los LMP en cuanto al cadmio, mercurio y plomo; mientras que las especies que presentan mayor absorción en relación a todos los metales son: *Cyathea tortuosa* con un valor representativo seguido de la *Miconia sp.*

Tabla 5. Zona en recuperación: Resultados de metales pesados

Especie	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)	Hg (ppm)	Pb (ppm)	As (ppm)
Hyptis obtusiflora	144,49	0,187	<LDD	0,008	0,04	4,261
Pennisetum peruvianum	1316,27	14,688	<LDD	0,017	1,101	7,971
Pityrogramma sp	629,72	7,728	<LDD	0,011	0,763	9,339
Centropogon sp	441,61	1,454	<LDD	0,01	0,652	2,964
Tibouchina lepidota	96,31	1,597	<LDD	0,013	0,641	2,059
Mandevilla callista	1428,48	7,409	<LDD	0,017	0,969	5,53
Miconia sp	1225,53	11,228	<LDD	0,015	1,453	10,408
Lepidaploa sp	1186,1	17,398	<LDD	0,017	1,314	5,075
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	**70**	**10**	**0,05**	**0,2**	**50**	**6**

Nota: LDD= 0.001 es el límite de detección del equipo.

En la zona en recuperación (tabla 5) podemos determinar tres especies que tienen mayor promedio de absorción estas son: *Mandevilla callista, Pennisetum peruvianum y Miconia sp*

Tabla 6. Zona Natural: Resultados de metales pesados.

Especie	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Cd (ppm)	Hg (ppm)	Pb (ppm)	As (ppm)
Miconia sp	256,71	3,069	<LDD	0,008	0,677	3,514
Ossaea sp	315,35	3,974	0,04	0,01	0,691	2,17
Sphaeradenia sp	38,2	0,052	<LDD	0,012	0,031	0,449
Blakea sp	521,38	3,294	<LDD	0,02	0,698	4,525
Pearcea sp	580,03	8,324	<LDD	0,012	0,72	5,535
Monochaetum lineatum	180,06	0,701	<LDD	0,01	0,04	1,683
Anthurium triphyllum	49,65	<LDD	<LDD	0,011	0,034	4,966
Cyathea caracasana	31,24	<LDD	<LDD	0,015	0,042	0,306
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	**70**	**10**	**0,05**	**0,2**	**50**	**6**

Nota: LDD < 0.001 es el límite de detección del equipo.

En la tabla seis podemos observar los análisis correspondientes a la zona natural la cual nos indica que los metales no sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos, esto ocurre debido a que la zona se encuentra en su estado natural sin ningún tipo de intervención y alejada de las zonas mineras.

Como ya se ha expresado según algunas definiciones las plantas hiper-acumuladoras son capaces de almacenar excesivas cantidades de contaminantes en su follaje es decir más del 1% del peso seco de la planta, este mecanismo implica alta tolerancia específica a metales pesados, los cuales están presentes en el suelo en concentraciones que se consideran fitotòxicas (Baker, 1989).

En cuanto a las tres zonas podemos observar que existe una gran acumulación de hierro el cual se encuentra muy por encima de los Límites Máximos Permisibles en relación al suelo.

La baja presencia del mercurio se da ya que durante la molienda, el refogado y el relave este es eliminado al medio ambiente, en forma líquida y gaseosa (Villas & Aranibar, 2003).

Para finalizar el estudio en base de los resultados obtenidos se puede inferir que el uso de especies vegetales nativas que bioacumulan metales pesados de suelos contaminados puede ser una alternativa interesante en programas que persiguen una descontaminación de áreas mineras. Tal es el caso de países como Colombia, Costa Rica, México, entre otros los cuales se encuentran realizando estudios y aplicando la fitorremediación ya que muestra ser una técnica muy viable, costo efectiva y ambientalmente amigable.

CONCLUSIONES

La diversidad de especies es notoria en la Zona Natural con relación a las Zonas en Recuperación y a la Zona Intervenida ya que presenta una mayor variedad de especies y una vegetación mucho más densa.

En cuanto a las Familias con mayor representatividad y que se encuentran en las tres zonas analizadas tenemos las Melastomataceae y las Araceae.

En lo que respecta a la acumulación de metales pesados los que sobrepasan los Límites Máximos Permisibles en las zonas en recuperación e intervenida son el Hierro (Fe), Cobre (Cu), Cadmio (Cd) y el Arsénico (As).

Las especies bioacumuladoras que se encontraron en las zonas con mayor concentración de metales pesados y que por ende se adaptan mejor a estas condiciones de contaminación son: de la familia Cyatheaceae (*Cyathea tortuosa),* de la familiaMelastomataceae *(Miconia sp),* familiaApocynaceae*(Mandevilla callista)* y de la familia Poaceae *(Pennisetum peruvianum)*

RECOMENDACIONES

Concienciar a las personas que llevan a cabo las actividades mineras dentro de la zona sobre los efectos que los metales pesados provocan al ambiente aplicando técnicas que eviten la demanda excesiva de estos para la extracción de oro.

Realizar proyectos in situ con las especies que presentan mayor tolerancia a los metales con el fin de determinar bajo qué condiciones se desarrollan.

Utilizar especies nativas para reforestar las zonas y lograr una fitorremediación exitosa en los suelos de las mismas.

En nuestro país el gobierno debería apoyar las investigaciones de fitorremediación con el fin de promoverlas e implementarlas en las diferentes zonas mineras donde se acumula gran cantidad de metales pesados los cuales alteran la composición del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

Aguirre, L. (2006). Situación de la minería en el Ecuador. Universidad Central del Ecuador. Quito Ecuador. Consultado 29 de septiembre del 2013. Disponible en: http://www2.udec.cl/alfatl/alfateclimin/documentos/Aguirre.pdf

Agudelo Betancur, L. M., Macías Mazo, K. I., & Suárez Mendoza, A. J. (2012). Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. Consultado 23 de septiembre del 2013. Disponible en: http://hdl.handle.net/10567/332

Asamblea Nacional. (Enero, 2009). Ley de Minería Ecuador. Comisión Legislativa y de Fiscalización. Quito Ecuador.

Baker, A. J. M., & Brooks, R. (1989). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements.A review of their distribution, ecology and phytochemistry.*Biorecovery*.

Barriga, P. (Abril, 2004). Plantas Pioneras. *Revista Ecuador Terra incognita N° 28*. Quito-Ecuador..(En línea) Consultado el 20 de junio del 2014, Disponible en: http://www.terraecuador.net/revista_28/28_pioneras.htm

Becerril, J. M., Barrutia, O., Plazaola, J. G., Hernández, A., Olano, J. M., & Garbisu, C. (2007). Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación. *Revista Ecosistemas*,*16*(2).

Bernal, M., Clemente, R., Vázquez, S., & Walker, D. (2007). Aplicación de la fitorremediación a los suelos contaminados por metales pesados en Aznalcóllar. *Revista Ecosistemas, 16*(2). doi:10.7818/re.2014.16-2.00.

Bonilla, S. (2013). *Estudio para tratamientos de biorremediación de suelos contaminadoscon plomo, utilizando el método de fitorremediación.* (Tesis, previa la obtención de título de:Ingeniero Ambiental). Quito-Ecuador.

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

Cerón, C. (2005), Manual de Botánica. Sistema etnobotánico y Métodos de estudio en el Ecuador. Herbario QCA. Quito-Ecuador.

Corona, M. (2000). Historia de la Biotecnología y sus Aplicaciones.(En línea) Consultado el 20 de junio del 2014, Disponible en: http://siladin.cchoriente.unam.mx/coord_area_cienc_exp/biologia/GuiaBioI/ANEXO_5Ing.pdf.

Chao, A. Chazdon, R. Colwell, R. & Shen, Tsung-Jen. (2005, 30 de noviembre) Un nuevométodo estadístico para la evaluación de la similitud en la composición de especies condatos de incidencia y abundancia. *Ecology letters, vol 4.* .(En línea) Consultado el 20 de diciembre del 2013, Disponible en: http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/EstimateSPages/EstSIndicedeshannUsersGuide/References/ChaoEtAl2005Sp.pdf

EPA. (2000). *Introduction to phytoremediation. U.S. Environmental Protection Agency*. (542F-00-007) .(En línea) Consultado el 20 de septiembre del 2014. Recuperado del sitio web de Environmental and Protection of America: http://nepis.epa.gov

Ferrera-Cerrato, R., Rojas-Avelizapa, N. G., Poggi-Varaldo, H. M., Alarcón, A., & Cañizares-Villanueva, R. O. (2006). Procesos de biorremediación de suelo y agua contaminados por hidrocarburos del petróleo y otros compuestos orgánicos. *Revista latinoamericana de Microbiología*, *48*(2), 179-187.

Gonzales, I. Muena, V. Cisternas M. & Neaman A. (2008) Copper accumulation in a plant community affected by mining contamination in Puchuncaví valley, central Chile. Santiago de Chile-Chile. (En línea).Consultado el 14 de diciembre de 2012.Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0716078X2008000200010&script=sci_arttext&tlng=e

H. Ortega Ortiz, A. Benavides Mendoza, R. Arteaga Alonso, A. Zermeño González. A.P 2001 Fitorremediación De Suelos Contaminados Con Metales Pesados, Centro de Investigación en Química Aplicada, Coahuila México.

Hernandez, R. (2002). Nutricion mineral de las plantas. Libro Botánica online. Universidad de Los Andes Mérida Venezuela. (En línea). Consultado el 15 de Marzo de 2015. Disponible en: http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/nutricionmineral

Hu, X. Jin, W. Lv, W. Cheng, S. & Jiang, Y. (2012). Investigation and evaluation on heavy metal copper and cadmium contaminations of vegetables grown in Huanggang City of China. *Advance Journal of Food Science and Technology, Vol 5* (2), pp 106-109. (En línea). Consultado el 14 de octubre de 2014. Disponible en: http://maxwellsci.com/print/ajfst/v5-106-109.pdf

Maqueda, A. P. 2003. Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados. Tesis de Opción a Maestría en Biotecnología. Departamento de Química y Biología, Universidad de las Américas, Cholula, Puebla. México.

Mostacedo, B., & Fredericksen, T. (2000). *Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal*. Proyecto de Manejo Froestal Sostenible (BOLFOR).

Navarro-Aviño, J. A. P; Aguilar, I. A; López, J. R. 2007. Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. Revista Ecosistemas. España.(En línea). Consultado el 17 de Junio de 2013. Disponible en: http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=488&Id_Categoria=1&tipo=portada

Orellana, J. (2009). *Determinación de índices de diversidad Florística arbórea en lasparcelas permanentes de muestreo del Valle de Sacta.* (Tesis para la obtención de título deingeniero forestal). Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba-Bolivia.

Ortega O. Hortensia (2007) Fitorremediacion de suelos contaminados con metales pesados, Centro de investigación de química aplicada.

Padilla, J., Ramirez, E., & Barra Zegarra, R. (2009). Niveles de concentración de metales pesados en especies vegetales emergentes en el pasivo minero ambiental de Ticapampa, Catac, Huaraz, Perú.

Piedra, L. (2014). Caracterización geológica y mineralógica de la zona minera La Pangui, área minera de Chinapintza, provincia de Zamora Chinchipe, Ecuador. (Trabajo de Fin de Titulación de Ingeniero en Geología y Minas). UTPL. Loja. pp. 107

Phillps, T. (2014). Six types of Phytoremediation. *About Biotech/Biomedical.* Consultado 19 de septiembre del 2013. Disponible en: http://biotech.about.com/od/environmentalbiotechnology/tp/TypesPhytoremediation.htm

Pla, L. (2006). Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Revista SCIELO Venezuela, vol 31* (8). Recuperado de: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0378-8442006000800008&script=sci_arttext

Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana, C., & Campos, A. (2006). Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera: Heavy metals pollution in soils damaged by mining industry. *Ecología Aplicada*, *5*(1-2), 149-155.

Reyes, G. Et. Al. (2006), (En línea) metales pesados en plantas provenientes de áreas afectadas por la minería aurífera en la reserva forestal Imataca, Venezuela, (En línea) Consultado el 17 de octubre de 2013. Disponible en: http://static.eluniversal.com/2013/03/03/imataca-2006.pdf

Rojas G. Edwin H. (2011)RevistaINGE@UAN, Tendencias en la Ingeniería. Ingenieria Ambiental. Concepto y estrategias de biorremediación.

Sandoval, F. (2001) Pequeña minería en Ecuador. International Institute for Environmental and Development. (En línea) Quito-Ecuador. Consultado el 02 de diciembre de 2012. Disponible en: http://pubs.iied.org/pdfs/G00721.pdf

Serrato, F. B., Díaz, A. R., Sarria, F. A., Brotons, J. M., & López, S. R. (2010). Afectación de suelos agrícolas por metales pesados en áreas limítrofes a explotaciones mineras del Sureste de España. Departamento de Geografía.Universidad de Murcia.

Sierra, R. (ed.). (1999). Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador Continental. Proyecto INEFAN/GEF-BIRG y EcoCiencia, Quito. 194 p.

Scragg Alan (2001).Biorremediación: aspectos generales. Biorremediación de: metales pesados, vertidos de petróleo, xenobióticos. Fitorremediación Tema 22 Libro BIOTECNOLOGIA MEDIOAMBIENTAL, Consultado 19 de septiembre del 2013. Disponible en: http://personal.us.es/jvinar/Tema%2022Bt%200708.pdf

Smith, T. Smith, R. (2007) Ecología. Pearson Education. Editorial Pearson, 6 ediciones.

The Perkin-Elmer Corporation. (1996). Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy. The United States of America.

Torre, L. Et. Al. (2008) Enciclopedia de Plantas Útiles del Ecuador, Herbario QCA, Quito-Ecuador.

Torres, K. & Zuluaga, T. (2009). Biorremediación de Suelos contaminados porhidrocarburos. *Universidad Nacional de Colombia.* (En línea) Consultado el 15 de septiembre, 2014, Disponible en: http://www.bdigital.unal.edu.co/815/1/32242005_2009.pdf

Vidal Durango, J., Marrugo Negrete, J., Jaramillo Colorado, B., & Perez Castro, L. (2010). Remediación de suelos contaminados con mercurio utilizando guarumo (Cecropia peltata). *Revista CientíFica IngenieríA Y Desarrollo, 27*(27). (En línea) Consultado el junio 5, 2014, Disponible en: http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/870/514

Villas-Boas, R. & Aranibar, A. (2003). *Pequeña minería y minería artesanal en Iberoamérica.* Río de Janeiro – Brasil. CETEM/CYTED/CONACYT.

Volque, T., Velasco, J., & Pérez, D., (2005). *Suelos contaminados por metales y metaloides: Muestreo y alternativas para su remediación.* Instituto Nacional de ecología. Secretaria de medio ambiente y recursos naturales.

ANEXOS

ANEXO 1. RESULTADO DE LOS ANÁLISIS PARA DETERMINAR LA ACUMULACIÓN DE METALES PESADO EN HOJAS, TALLO Y RAÍZ DE ESPECIES VEGETALES EN LA ZONA INTERVENIDA

Especie	Hierro (Fe)			Cobre (Cu)			Cadmio (Cd)			Mercurio (Hg)			Plomo (Pb)			Arsenico(As)		
	Hojas	Tallo	Raiz	Hojas	Tallo	Raiz	Hojas	Tallo	Raiz	Hojas	Tallo	Raiz	Hojas	Tallo	Raiz	Hojas	Tallo	Raiz
Miconia sp	261,429	73,810	351,799	9,750	5,714	11,421	<LDD	0,353	0,594	0,006	0,004	0,006	1,710	0,052	2,005	3,350	2,180	4,367
Cyathea tortuosa	307,439	67,661	5491,833	5,865	0,482	72,995	<LDD	<LDD	0,163	0,008	0,003	0,003	1,773	1,768	8,096	2,372	1,181	16,757
Sphyrospermum cordifolium	175,538	56,721	42,193	1,452	0,523	2,088	<LDD	<LDD	<LDD	0,003	0,004	0,008	1,710	0,040	0,059	1,085	1,820	3,047
Sphyrospermum longifolium	38,785	35,169	194,652	<LDD	0,150	<LDD	<LDD	<LDD	<LDD	0,006	0,007	0,008	0,029	0,049	3,374	1,456	2,032	5,485
Cavendishia nobilis	218,293	44,231	225,606	7,456	<LDD	3,754	<LDD	<LDD	<LDD	0,005	0,015	0,011	1,714	1,740	1,742	9,369	4,487	6,811
Mandevilla callista	328,970	-	246,239	10,244	-	7,725	0,524	-	<LDD	0,010	-	0,011	2,077	-	1,937	8,421	-	5,356
Lycopodium clavatum	247,378	-	168,288	3,490	-	13,315	<LDD	-	<LDD	0,008	-	0,008	1,672	-	2,519	6,821	-	7,717
Asplundia sp	181,081	1,376	173,736	5,369	1,743	10,325	<LDD	<LDD	<LDD	0,006	0,007	0,014	0,062	0,028	1,903	1,796	0,445	6,684
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	**25**			**10**			**0,05**			**0,2**			**50**			**6**		

Nota: LDD= 0.001 es el límite de detección del equipo.

ANEXO 2. RESULTADO DE LOS ANÁLISIS PARA DETERMINAR LA ACUMULACIÓN DE METALES PESADO EN HOJAS, TALLO Y RAÍZ DE ESPECIES VEGETALES EN LA ZONA EN RECUPERACIÓN.

Especie	Hierro (Fe)			Cobre (Cu)			Cadmio (Cd)			Mercurio (Hg)			Plomo (Pb)			Arsenico(As)		
	Hojas	Tallo	Raiz	Hojas	Tallo	Raiz	Hojas	Tallo	Raiz	Hojas	Tallo	Raiz	Hojas	Tallo	Raiz	Hojas	Tallo	Raiz
Hyptis obtusiflora	173,304	114,516	145,664	1,500	<LDD	<LDD	<LDD	<LDD	<LDD	0,002	0,013	0,010	0,050	0,035	0,036	4,686	4,502	3,594
Pennisetum peruvianum	229,317	-	2403,226	0,737	-	28,638	<LDD	-	<LDD	0,015	-	0,019	0,037	-	2,164	2,108	-	13,833
Pityrogramma sp	112,054	87,140	1689,964	0,679	<LDD	23,118	<LDD	2,482	<LDD	0,016	0,008	0,010	0,054	0,029	2,204	14,841	1,508	11,667
Centropogon sp	126,868	109,263	1088,710	1,441	0,090	2,832	<LDD	<LDD	<LDD	0,009	0,010	0,011	0,046	0,036	1,875	2,109	1,159	5,625
Tibouchina lepidota	96,964	120,180	71,786	0,018	0,432	4,339	<LDD	0,793	<LDD	0,011	0,012	0,016	0,035	0,042	1,847	1,211	1,456	3,509
Mandevilla callista	2668,739	-	188,214	10,515	-	4,304	<LDD	-	<LDD	0,017	-	0,017	1,870	-	0,067	9,373	-	1,687
Miconia sp	406,595	131,989	3137,993	4,902	3,423	25,358	<LDD	<LDD	<LDD	0,011	0,012	0,022	1,809	0,043	2,507	7,490	3,769	19,964
Lepidaploa sp	89,594	2972,222	496,491	5,362	35,323	11,509	<LDD	<LDD	<LDD	0,017	0,022	0,012	0,054	1,931	1,959	3,081	6,138	6,007
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	**25**			**10**			**0,05**			**0,2**			**50**			**6**		

Nota: LDD= 0.001 es el límite de detección del equipo.

ANEXO 3. RESULTADO DE LOS ANÁLISIS PARA DETERMINAR LA ACUMULACIÓN DE METALES PESADO EN HOJAS, TALLO Y RAÍZ DE ESPECIES VEGETALES EN LA ZONA NATURAL.

Especie	Hierro (Fe)			Cobre (Cu)			Cadmio (Cd)			Mercurio (Hg)			Plomo (Pb)			Arsenico(As)		
	Hojas	Tallo	Raiz	Hojas	Tallo	Raiz	Hojas	Tallo	Raiz	Hojas	Tallo	Raiz	Hojas	Tallo	Raiz	Hojas	Tallo	Raiz
Miconia sp	179,189	122,423	468,515	1,351	1,826	6,029	<LDD	<LDD	<LDD	0,007	0,007	0,011	0,041	0,038	1,952	2,589	1,317	6,637
Ossaea sp	152,500	62,015	731,532	1,278	2,015	8,631	<LDD	<LDD	2,144	0,009	0,010	0,013	0,042	0,036	1,995	3,783	0,219	2,508
Sphaeradenia sp	36,442	34,206	43,964	1,350	<LDD	<LDD	<LDD	<LDD	<LDD	0,015	0,010	0,009	0,033	0,029	0,031	0,316	0,377	0,655
Blakea sp	109,633	23,054	1431,444	0,569	<LDD	10,420	<LDD	<LDD	<LDD	0,011	0,030	0,019	0,041	0,031	2,021	2,363	0,487	10,724
Pearcea sp	548,561	133,274	1182,554	11,367	2,594	11,010	<LDD	<LDD	<LDD	0,012	0,010	0,013	0,070	0,052	2,037	7,129	4,445	5,030
Monochaetum lineatum	356,498	45,740	137,934	1,679	<LDD	0,841	<LDD	<LDD	<LDD	0,010	0,010	0,011	0,053	0,033	0,036	3,063	0,479	1,506
Anthurium triphyllum	54,630	45,978	48,354	<LDD	<LDD	<LDD	<LDD	3,510	<LDD	0,003	0,012	0,019	0,037	0,032	0,033	11,994	0,856	2,047
Cyathea caracasana	28,223	27,394	38,102	0,495	<LDD	<LDD	<LDD	<LDD	<LDD	0,013	0,012	0,020	0,043	0,038	0,044	0,001	0,481	0,436
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	**25**			**10**			**0,05**			**0,2**			**50**			**6**		

Nota: LDD= 0.001 es el límite de detección del equipo.