



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

SEDE ZAMORA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y
CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD Y REMEDIACIÓN
DE SUELOS MEDIANTE LA TÉCNICA DE BIOPILAS
EN UNA ZONA INTERVENIDA POR PEQUEÑA
MINERÍA EN EL BARRIO SAN ANTONIO PARROQUIA
GUADALUPE.

*Tesis previa a la obtención
del título de: Ingeniero en
Manejo y Conservación del
Medio Ambiente*

AUTOR: JORGE VLADIMIR ARMIJOS VALAREZO.

DIRECTORA: ING. MARÍA LUISA DÍAZ. Mg.Sc.

ZAMORA – ECUADOR

Febrero, 2014



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

PLAN DE CONTINGENCIA

SEDE ZAMORA
CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO
AMBIENTE

CERTIFICACION

Señor Doctor.
Pablo Cabrera Ordoñez, Mg.Sc.
**COORDINADOR GENERAL DEL PLAN DE CONTINGENCIA DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA.**
Loja.

De mi especial consideración.

Por medio del presente expreso un atento y cordial saludo, y a la vez me permito hacer conocer a su autoridad lo siguiente:

En calidad de Directora del Trabajo de Titulación denominado: "Evaluación de la fertilidad y remediación de suelos mediante la técnica de biopilas en una zona intervenida por pequeña minería en el barrio San Antonio parroquia Guadalupe", de autoría del señor Jorge Vladimir Armijos Valarezo, de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente del Plan de Contingencia de la Universidad Nacional de Loja, con Sede en Zamora, **CERTIFICO** que se ha realizado la revisión prolija del Trabajo de Titulación antes citado, de conformidad con lo que establece el Reglamento de Régimen Académico de la Universidad Nacional de Loja dentro del cronograma aprobado, por lo que autorizo su presentación y continuación del proceso de titulación.

Zamora, 14 de Octubre de 2014.

Atentamente,

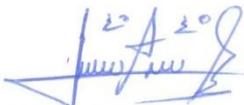
Ing. María Luisa Díaz López, Mg.Sc.
DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTORÍA

Yo **Jorge Vladimir Armijos Valarezo**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación 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 Titulación en el repositorio institucional-biblioteca Virtual.

AUTOR: Jorge Vladimir Armijos Valarezo


FIRMA:.....

CÉDULA: 1900532258

FECHA: Loja 01 de Diciembre del 2014.

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

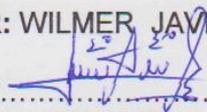
Yo, Armijos Valarezo Jorge Vladimir declaro ser autor de la Tesis titulada: **“EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD Y REMEDIACIÓN DE SUELOS MEDIANTE LA TÉCNICA DE BIOPILAS EN UNA ZONA INTERVENIDA POR PEQUEÑA MINERÍA EN EL BARRIO SAN ANTONIO PARROQUIA GUADALUPE.”** Como requisito para optar al Grado de: **Ingeniero 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 RDI, 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 01 días del mes de diciembre del dos mil catorce, firma el autor:

AUTOR: WILMER JAVIER CASTILLO CORDOVA

FIRMA: 

CÉDULA: 1900532258

DIRECCIÓN: Zamora: Barrio La Alvernia: Calle Cumbaratza

CORREO ELECTRÓNICO: Vladimir_armijos@hotmail.com

TELÉFONO: CÉLULAR: 0981070799

DATOS COMPLEMENTARIOS

DIRECTOR DE TESIS: Dr. Mg. Sc. María Luisa Díaz

TRIBUNAL DE GRADO:

Ing. Mg. Osmani López	(Presidente)
Ing. Mg. Farley Figueroa	(Vocal)
Ing. Mg. Galo Ramos	(Vocal)

AGRADECIMIENTO

Expreso mi agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja, por dar la acogida al plan de contingencia, al Área Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables, que en su momento supieron abrir las puertas y con ello haberme permitido la profesionalización en esta carrera; así mismo expreso mi agradecimiento a todos mis maestros catedráticos que con sus valiosos conocimientos supieron guiarme durante toda la carrera estudiantil, como también a quienes forman parte del personal administrativo de la UNL que me facilitaron los procesos con su apoyo. De la misma manera agradezco profundamente a la directora de tesis Ing. María Luisa Díaz Mg Sc y a todos los miembros que han formado parte de este proceso de desarrollo de investigación.

El haber cumplido con esta etapa de profesionalización, significa para mí asumir nuevos retos, los mismos que los haré con la más alta calidad profesional y llevando en alto el nombre de la Universidad de la cual formo parte.

ÍNDICE GENERAL.

Índice de Contenidos

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA	iii
CARTA DE AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE GENERAL	vi
A. TITULO.	1
B. RESUMEN.	2
C. INTRODUCCIÓN.	6
D. REVISIÓN DE LA LITERATURA	8
1. Contaminación de suelos por actividades mineras.	8
2. REMEDIACIÓN DE SUELOS.....	9
2.1. Importancia del suelo.	9
2.2. Alternativas de remediación de sitios contaminados por metales pesados.....	10
2.2.1. Biopilas mezcladas.....	11
2.2.2. Atenuación natural.....	11
2.2.3. Bioestimulación.	12
2.2.4. Bioaumentación.....	12
2.2.5. Biolabranza.	13
2.2.6. Compostaje.	13
2.3. Interpretación de resultados de análisis de fertilidad del suelo.	15
2.3.1. Bajo.	15
2.3.2. Medio.....	15
2.3.3. Alto.	15
2.4. MATERIA ORGÁNICA.	16
2.5. NITRÓGENO.....	16
2.5.1. Exceso y deficiencia de nitrógeno.	16

2.5.2. Fijación simbiótica.	18
2.6. FOSFORO.....	18
2.6.1. Exceso y deficiencia de fosforo.	19
2.6.2. Fosforo total del suelo.	19
2.6.3. Fosforo en forma inorgánica en el suelo.	20
2.6.4. Forma orgánica.	20
2.7. POTASIO.	20
2.7.1. Exceso y deficiencia de potasio.....	22
2.8. MAGNESIO.....	23
2.8.1. Deficiencia de Magnesio.	23
2.9. MERCURIO.....	24
2.9.1. Concentración de Hg en el suelo.....	24
2.9.2. Biodegradabilidad de Hg en el suelo.	24
3. MARCO LEGAL.	26
3.1. CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR.....	26
3.1.1. Ambiente sano.....	26
3.1.2. Soberanía alimentaria.	26
3.1.3. RÉGIMEN DEL BUEN VIVIR.....	27
4. TULSMA.....	27
5. NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS.	28
5.1. Suelo contaminado.....	28
5.2. De las actividades que degradan la calidad del suelo.	28
5.3. Remediación del suelo contaminado.....	29
5.4. Tratamiento biológico.	29
5.5. Criterios de remediación o restauración del suelo.....	29
5.6. Textura del suelo.	30
5.7. Potencial de hidrogeno.....	30
5.8. Conductividad eléctrica.	30
6. LEY ORGÁNICA REFORMATORIA A LA LEY DE MINERÍA, A LA LEY REFORMATORIA PARA LA EQUIDAD TRIBUTARIA EN EL ECUADOR, Y	

A LA LEY ORGÁNICA DE RÉGIMEN TRIBUTARIO INTERNO. JUNIO 2013.	31
7. Otros estudios realizados.	31
8. Estudio dos.	33
E. MATERIALES Y MÉTODOS.	35
1. Los materiales y equipos que se utilizaron para la investigación fueron:	35
2. MÉTODOS.	36
2.1. Ubicación del área de estudio.	36
2.2. Ubicación geográfica.	37
2.3. Hidrografía.	37
2.4. Características climáticas.	39
3. Tipo de investigación / estudio. Correlacional.	39
3.1. VARIABLES.	39
3.1.1. INDEPENDIENTE.	39
3.1.2. DEPENDIENTE.	39
4. METODOLOGÍA PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO UNO:	39
4.1. Delimitación del área para muestreo del suelo.	39
4.2. Tipo de muestreo.	40
4.3. Protocolo de muestreo.	41
4.3.1. Tipo de envase.	41
4.3.2. Tipo de muestra.	41
4.3.3. Procedimiento para la obtención de las muestras de suelo del área intervenida por minería.	42
4.3.4. El método del cuarteo se lo realizó de la siguiente manera:	42
4.3.5. Procedimiento para la obtención de la muestra de suelo del área no intervenida.	44
4.3.6. Etiquetado y envío de las muestras.	44
4.3.7. Parámetros para análisis de laboratorio para fertilidad.	45
4.3.8. Muestreo de suelo para análisis de Hg en el área intervenida por minería.	45
4.3.9. Muestreo de suelo para análisis de Hg en el área no intervenida.	46

4.4.	Análisis de laboratorio para mercurio.	46
4.5.	Interpretación de resultados de laboratorio del área intervenida por minería y del área no intervenida.	46
4.6.	Interpretación del resultado de laboratorio del área intervenida por minería para mercurio.	47
4.7.	Interpretación del resultado de laboratorio del área no intervenida por minería para mercurio.	47
5.	METODOLOGÍA PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO DOS:.....	48
5.1.	Reconocimiento y delimitación del área para la investigación de remediación.....	48
5.2.	Construcción de biopilas.	49
5.3.	Manejo y seguimiento de biopilas.	51
5.4.	Toma de muestras del suelo en el área remediada para el análisis de fertilidad y mercurio.	51
5.5.	Los indicadores que se analizaron fueron.	52
5.6.	Interpretación de resultados del laboratorio para fertilidad y mercurio.	53
6.	METODOLOGÍA PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO TRES:.....	53
6.1.	Siembra de una especie de hierba brachiaria decumbens.....	53
6.2.	Monitoreo y seguimiento del pasto.....	55
F.	RESULTADOS.	58
1.	Resultados del primer objetivo específico. Realizar el diagnóstico de la fertilidad del suelo y determinar el grado de contaminación por mercurio del área en estudio.....	58
1.1.	Textura.	59
1.2.	Potencial de hidrogeno.....	59
1.3.	Materia orgánica.....	59
1.4.	Nitrógeno.....	59
1.5.	Fosforo.	60
1.6.	Potasio.	60
1.7.	Calcio.	60
1.8.	Magnesio.....	61
1.9.	Conductividad eléctrica.	61

1.10. Resultados de los análisis de mercurio.	62
2. Resultados del segundo objetivo específico: Remediar suelos contaminados y mejorar la fertilidad del suelo a través de la técnica de biopilas.	63
2.1. Resultados obtenidos del área intervenida por minería y del área remediada para agricultura.....	63
2.1.1. Textura.	65
2.1.2. Potencial de hidrogeno.	65
2.1.3. Materia orgánica.....	65
2.1.4. Nitrógeno.....	65
2.1.5. Fosforo.	66
2.1.6. Potasio.	66
2.1.7. Calcio.	66
2.1.8. Magnesio.....	66
2.1.9. Conductividad eléctrica.	66
2.2. Análisis de los resultados obtenidos del área intervenida por minería y del área remediada para mercurio.....	67
3. Resultados del tercer objetivo específico: Comprobar la efectividad de la técnica aplicada para remediar suelos y evaluar el mejoramiento de fertilidad a través de la implementación de un sistema pastoril.....	68
3.1. Resultados de la siembra de pasto.	68
3.1.1. Cobertura y floración de brachiaria decumbens en el área remediada y testigo.....	69
3.1.2. Control de plantas que presentan aspectos de mal formación... ..	69
G. DISCUSIÓN.	71
1. Para los resultados del primer objetivo específico.	71
1.1. Textura.	71
1.2. Potencial de hidrogeno.....	72
1.3. Materia orgánica.....	72
1.4. Nitrógeno.....	73
1.5. Fosforo.	74
1.6. Potasio.	75

1.7. Calcio.....	76
1.8. Magnesio.....	77
1.9. Conductividad eléctrica.....	78
1.10. Mercurio.....	79
2. Para los resultados del segundo objetivo específico.....	80
2.1. Textura.....	80
2.2. Potencial de hidrogeno.....	81
2.3. Materia orgánica.....	82
2.4. Nitrógeno.....	83
2.5. Fosforo.....	84
2.6. Potasio.....	85
2.7. Calcio.....	86
2.8. Magnesio.....	87
2.9. Conductividad eléctrica.....	88
2.10. Mercurio.....	88
3. Para los resultados del tercer objetivo específico.....	90
3.1. Siembra de brachiaria decumbens.....	90
3.2. Cobertura y floración.....	90
3.3. Plantas con características en mal aspecto físico.....	92
H. CONCLUSIONES.....	94
I. RECOMENDACIONES.....	96
J. BIBLIOGRAFÍA.....	97
K. ANEXOS.....	102

ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadro 1. Ventajas y desventajas del proceso biológico de remediación. .	14
Cuadro 2. Germinación de semillas brachiaria decumbens. “humidicola” ..	56
Cuadro 3. Comportamiento agronómico de la siembra del pasto.....	57
Cuadro 4. Porcentaje de cobertura del pasto a los dos meses y medio.	57
Cuadro 5. Control de plantas con deficiencia.	57
Cuadro 6. Resultados de fertilidad del suelo de las áreas intervenida y no intervenida.....	58
Cuadro 7. Resultado del análisis de mercurio.	62
Cuadro 8. Resultados de fertilidad del suelo de las áreas intervenida y remediada.	63
Cuadro 9. Relación costo beneficio de compost por Ha.....	62
Cuadro 10. Relación costo beneficio de cal por Ha.....	682
Cuadro 11. Relación costo beneficio de miel por Ha	63
Cuadro 12. Resultados obtenidos del área intervenida y del área remediada para mercurio.....	65
Cuadro 13. Germinación de semillas de brachiaria decumbens.....	66
Cuadro 14. Comportamiento agronómico de la siembra de brachiaria decumbens.....	66
Cuadro 15. Porcentaje de cobertura y floración de brachiaria decumbens.	67
Cuadro 16 Control de plantas con deficiencia.....	67

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Interpretación de los principales nutrimentos del suelo para el sur del Ecuador, rangos críticos: mínimo, óptimo, y alto o máximo.	15
Tabla 2. Criterios de remediación o restauración del suelo. Límites máximos permisibles.	29
Tabla 3. Rangos de potencial de hidrogeno.	30
Tabla 4. Ubicación geográfica del sector.	37

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura. 1. Proceso de compostaje de suelo contaminado.	14
Figura 2. Sistema experimental (biopilas)	33

ÍNDICE DE MAPAS.

Mapa 1. Esquema de ubicación del área de investigación.	40
Mapa 2. Delimitación de las 5 Ha para muestreo del suelo.	41
Mapa 3. Delimitación del área de investigación para la remediación.....	48

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Ubicación del area de investigacion. Fuente. Google earth. ...	38
Fotografía 2. Selección de muestras a través del método del cuarteo.....	43
Fotografía 3. Muestras listas para ser enviada al laboratorio.....	43
Fotografía 4. Área no intervenida.....	44
Fotografía 5. Muestreo del área.....	44
Fotografía 6. Proceso de elaboración de las biopilas in situ.....	50
Fotografía 7. Preparación del área remediada para muestreo, y siembra de la especie de pasto brachiaria.....	52
Fotografía 8. Subdivisión del terreno para la siembra del pasto.....	54
Fotografía 9. Peso de semillas 100 m2.....	55
Fotografía 10. Peso de semillas para para cada m ²	55
Fotografía 11. Seguimiento y monitoreo del crecimiento del pasto.....	56
Fotografía 12. Proceso en el cual se da la lixiviación de los macronutrientes mediante la explotación de oro.....	78
Fotografía 13. Contaminación del suelo mediante la clasificación del material de mina por la utilización de mercurio.....	80
Fotografía 14. Establecimiento del pasto en el área remediada.....	91
Fotografía 15. Características físicas del pasto en el área testigo.....	92
Fotografía 16. Deficiencia del pasto en una parte del área remediada.	93

A. TITULO.

“Evaluación de la fertilidad y remediación de suelos mediante la técnica de biopilas en una zona intervenida por pequeña minería en el barrio San Antonio parroquia Guadalupe”.

B. RESUMEN.

El cantón Yacuambi está ubicado al sur de la amazonía ecuatoriana perteneciente a la provincia de Zamora Chinchipe. Uno de los problemas ambientales más pronunciados en todas las playas y riveras de los ríos que atraviesan el cantón es: la degradación, contaminación, y esterilidad de suelos por la presencia de pequeña minería ilegal. Con la finalidad de investigar este problema, se estableció un área en el barrio San Antonio, parroquia Guadalupe donde existieron trabajos de extracción de oro, a través de la utilización de maquinaria pesada. Para el desarrollo de esta investigación se plantearon los siguientes objetivos: realizar el diagnóstico de la fertilidad del suelo y determinar el grado de contaminación por mercurio, remediar suelos contaminados y mejorar la fertilidad del suelo a través de la técnica de biopilas, comprobar la efectividad de la técnica aplicada para remediar suelos y evaluar el mejoramiento de la fertilidad a través de la implementación de una especie de pasto *brachiaria decumbens*. Con el propósito de cumplir los objetivos planteados se desarrolló la siguiente metodología: Se realizó un muestreo compuesto del área total intervenida 4.8 Ha, para el análisis de suelos; de igual forma se realizó un muestreo compuesto de un pequeño micro lote 0,2 Ha, que se encuentra dentro del área en estudio, es decir el área total en estudio es de 5 Ha, de las cuales 4.8 son intervenidas por minería y 0.2 no son intervenidas por minería. Con los resultados obtenidos de laboratorio se realizó un diagnóstico de las dos áreas “intervenida y no intervenida” en base a los requerimientos óptimos para un suelo agrícola, seguidamente se procedió a delimitar un área de 400 m² para la investigación de remediación, la misma que fue dividida en dos partes, 200 m² para la remediación y 200 m² que sirvió como testigo. La remediación se realizó en biopilas de compost in situ, luego del proceso de remediación se procedió a comprobar la efectividad del trabajo a través de un análisis de suelos y de la evaluación del comportamiento agronómico de la especie *brachiaria decumbens* en las dos áreas “remediada y testigo”.

Entre los resultados obtenidos de laboratorio los indicadores de fertilidad del suelo en el área intervenida muestran que existe un desequilibrio de macronutrientes en el suelo, los siguientes parámetros: MO, N, K₂O₅, Ca, Mg, en un nivel bajo; P₂O₅, en un nivel medio, baja concentración de sales, textura, y pH en un nivel óptimo; los indicadores de fertilidad del suelo en el área no intervenida muestran que existe un equilibrio de los macronutrientes en el suelo, los siguientes parámetros: MO, N, P₂O₅, K₂O₅, Ca, en un nivel alto; Mg en un nivel bajo, textura y pH en un nivel óptimo, y baja concentración de sales; La concentración de mercurio en el área intervenida se encuentra sobre los niveles máximos permisibles establecidos en el TULSMA, mientras que en el área no intervenida se encuentra bajo los niveles máximos permisibles para criterios de remediación, y sobre los niveles máximos para criterios de calidad. Los resultados de laboratorio luego del proceso de remediación muestran que existe un mejoramiento en los macronutrientes esenciales para un suelo agrícola, clasificándolos de la siguiente manera: MO, N, P₂O₅, en un nivel alto, Ca, Mg, en un nivel medio, K₂O₅, en un nivel bajo, conductividad eléctrica, pH, y textura dentro del rango óptimo para agricultura; con la aplicación de la técnica de remediación de suelos en biopilas se logró mejorar el grado de fertilidad y reducir el grado de concentración de mercurio hacia el rango del nivel máximo permisible establecido en el TULSMA. La eficiencia del trabajo de remediación se evidencio a través de la implementación del pasto, el mismo que se obtuvo un 95% de germinación en el área remediada, y un 45% en el área testigo. El crecimiento de las plantas cobertura y floración en el área remediada se desarrolló en forma equilibrada logrando obtener estos resultados al 100% en el lapso de dos meses y medio, mientras que en el área testigo la altura máxima de las plantas fue de 12 cm, cobertura 10%, y no existió floración; la incidencia a enfermedades de las plantas en el área remediada fue de un 5%, mientras que en el área testigo todas las plantas presentaron indicios de mal formación al 100%.

SUMMARY

The Yacuambi canton is located at the South of the Ecuadorian Amazon in the province of Zamora Chinchipe. One of the most important environmental problems in the beaches and streams of the rivers that cross the canton is the degradation, pollution, and infertility of the land due to the illegal small mining. With the objective to research this problem, it was established an area in San Antonio town, Guadalupe parish where there was gold extraction through the use of hard machinery. To develop this research, the following goals were settled: To realize the diagnostic of the soil fertility to recover the polluted land and improve the land fertility through the biobattery technique, to prove the effectiveness of the applied technique to remedy lands and evaluate the improvement of fertility through a specie of grass called *brachiari decumbens*. With the purpose to carry out the established goals, it was developed the following methodology. It was done a sampling with the total area 4.8 Ha. In the same way, there was a sample composed by a small land portion which is inside the studied land, that is, the total studied area is 5Ha, from which 4.8 is intervened by mining and 0.2 is not intervened. With the obtained lab results it was made a diagnostic of both areas intervened and non intervened based on the right requirements for an agricultural land. Continuously, it was delimited an area of 400 m for the solution research, the same which was divided in two parts, 200 m for the improvement and 200m like a witness. The improvement was realized in bio battery compost in situ, then it was proved the work effectiveness in both areas through the analysis of soil and evaluation of agronomical behavior in *brachiaria decumbens* specie. Among the obtained results in the treated area, shows that there is an unbalance of macronutrient on the land. The following in a low level MO, N, K₂O₅, Ca, Mg, in a medium level, low concentration of salts, texture and PH in a great level. The indicators of fertility in the soil in the intervened area shows that exists a balance of macronutrient on the land, the following components: Mo, N, P₂O₅, K₂O₅, Ca in a high level, Mg in a low level, texture and great level and low concentration of salts. The

concentration of Mercury in the treated area is above the established levels in TULSMA, while in the non intervened area it is below the levels for quantity criteria. The labs results after the remedy process show that there is a improvement in the essential macronurishment for the agricultural land, classifying in the following way: MO, N, P₂O₅ in ahigh level, Ca, Mg, in a low level; electric conductivity, PH, and texture inside of an agricultural rank. With the application of improvement technique of land in bio battery, it was reached the improvement of the fertility grade and to reduce the grade of mercury concentration toward the maximum level established by TULSMA. The efficiency of the improvement was proved through the implementation of grass, which obtained 95% germination in the area, a 45% in the witness area. The growing of the plants and flowering in the treated area developed in a balanced way obtained good results in 100%in a period of two months and a half, while in the witness area, the height of plants was 12 cm, covering 10% and there was no flowering. The incidence of illnesses in the plants was about 5%, while in the witness all the plants had signs of illnesses in 100%

C. INTRODUCCIÓN.

La supervivencia de los seres humanos depende del recurso suelo, recurso de muy alto valor desde la perspectiva del abastecimiento de productos alimenticios a toda la población. Una de las consecuencias de la revolución industrial es la explotación de recursos naturales no renovables, en la actualidad específicamente en la provincia de Zamora Chinchipe, en el cantón Yacuambi a través de un viaje que conduce hacia la cabecera parroquial Tutupali se puede visualizar un sin número de maquinarias excavadoras que operan en todas las riveras y playas de la cuenca del río Yacuambi ubicándolas desde el barrio La Zaquea hasta la última cabecera parroquial del cantón Yacuambi "Tutupali". El tema de la minería ilegal en este cantón es uno de los problemas que ha tomado mucha relevancia en los últimos 10 años a causa de la ubicación y del recurso muy precioso existente en estas zonas. De acuerdo a la constitución de la república del Ecuador no existe regularización, ni permisos ambientales para operar como pequeña, o mediana minería en extracción de oro en aluviales motivo por el cual los titulares, dueños de playas, y operadores realizan este proceso de extracción del recurso natural no renovable de manera ilegal, laborando con mayor frecuencia en las noches y los fines de semana, una vez extraído el recurso precioso dorado oro, estos suelos son repuestos de una manera rápida sin tener ningún tipo de tratamiento ni precaución de los impactos ambientales que se generan y puedan generarse a largo plazo, uno de ellos es la esterilidad, y contaminación del suelo.

El desarrollo de este trabajo de investigación tiene como objetivo central: Evaluar la fertilidad y remediar suelos mediante la técnica de biopilas en una zona intervenida por pequeña minería en el barrio San Antonio parroquia Guadalupe.

Con la finalidad de dar cumplimiento a esta investigación se planteó, y desarrollo los siguientes objetivos específicos:

- Realizar el diagnóstico de la fertilidad del suelo y determinar el grado de contaminación por mercurio del área en estudio.
- Remediar suelos contaminados y mejorar la fertilidad del suelo a través de la técnica de biopilas.
- Comprobar la efectividad de la técnica aplicada para remediar suelos y evaluar el mejoramiento de fertilidad a través de la implementación de un sistema pastoril.

D. REVISIÓN DE LA LITERATURA.

1. Contaminación de suelos por actividades mineras.

El suelo es alterado como resultado de las actividades mineras. Una de las anomalías biogeoquímico que se generan al momento de la extracción, es el aumento de la cantidad de micro elementos en el suelo convirtiéndolos a niveles de macro elementos los cuales afectan negativamente el ecosistema y la calidad de suelo; estos afectan el número, diversidad y actividad de los organismos del suelo, inhibiendo la descomposición de la materia orgánica del suelo (Hernández, 2011).

Los suelos que quedan tras una explotación minera contienen todo tipo de materiales residuales, escombros estériles, entre otros, lo que representa graves problemas para el desarrollo de la cubierta vegetal, siendo sus características más notables las siguientes: Clase textural desequilibrada, ausencia o baja presencia de la estructura edáfica, propiedades químicas anómalas, disminución o desequilibrio en el contenido de nutrientes fundamentales, ruptura de los ciclos biogeoquímicos, baja profundidad efectiva, dificultad de enraizamiento, baja capacidad de cambio, baja retención de agua y presencia de compuestos tóxicos (Cuevas, 2010).

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

Los suelos tienen propiedades físicas y químicas muy diferentes, pero además están sometidos a distintas variaciones en la humedad, el pH y las condiciones de oxidación y reducción, cuando un suelo se encuentra contaminado afecta a varios medios como el aire, las aguas superficiales, las aguas subterráneas, suelos aledaños y los receptores potenciales, además es una contaminación dinámica porque al moverse los contaminantes en el suelo a través de las capas más permeables se facilita su dispersión y esto hace que aumente el área afectada. La contaminación del suelo fundamentalmente se debe a fuentes antropogénicas como es la minería con la utilización de excavadoras, malas prácticas agrícolas, como el uso abusivo de fertilizantes químicos, pesticidas, insecticidas, fungicidas, herbicidas, nematicida, uso de aguas residuales etc. Las explotaciones mineras mediante proceso de explotación incorporan al suelo elementos tóxicos procedente de las mina. El volteo que le dan al suelo al momento de la explotación; y por otra parte los residuos industriales generados (Millar, et al, 1980).

2. REMEDIACIÓN DE SUELOS.

2.1.Importancia del suelo.

El suelo es esencial para la sociedad humana, es la base fundamental para la producción de alimentos para consumo humano en un 90%, además de servir de apoyo a los asentamientos humanos, proporcionar materias primas y aguas subterráneas. La contaminación del suelo es consecuencia de las industrias extractivas, actividades industriales y el vertido de residuos al suelo, que se han desarrollado durante años con poca consideración del impacto sobre el ecosistema suelo. Además el depósito de residuos industriales y domésticos puede generar la contaminación de las aguas subterráneas (Oprea, et al, 2009).

2.2. Alternativas de remediación de sitios contaminados por metales pesados.

Las técnicas de remediación de suelos implican cualquier operación que altera las características de los desechos peligrosos o contaminantes mediante la aplicación de procesos físicos, químicos y biológicos, disminuyendo su toxicidad, volumen, o movilidad. Los procesos de remediación pueden clasificarse como destructivos y no destructivos, los procesos destructivos como su nombre lo indica destruyen el contaminante, alterando su estructura química; los no destructivos reducen la concentración del mismo aprovechando sus propiedades físicas y químicas o sirven para inmovilizar los contaminantes evitando así que se dispersen. Las técnicas de remediación in situ son aquellas que no requieren excavación y transporte del suelo, estas técnicas dependen mucho del tiempo necesario para descontaminar el área y del costo del tratamiento. Las ventajas de estos tratamientos son sus bajos costos y la posibilidad de tratar el suelo sin necesidad de excavar ni transportar el material. Las técnicas biológicas mayormente empleadas para remediar sitios contaminados por metales pesados se basan en tratamientos de recuperación que disminuyen la toxicidad de los metales tóxicos a través de la actividad biológica natural mediante reacciones que forman parte de sus procesos metabólicos. (Ortiz, et al, 2008).

Enfocados en las técnicas biológicas, surge el término biotransformación de metales realizados principalmente por microorganismos. Los microorganismos están estrechamente relacionados con la biogeoquímica de los metales a través de una serie de procesos que determinan su movilidad y biodisponibilidad. Se debe señalar que los microorganismos no pueden degradar ni destruir metales, pero si pueden controlar la especiación y transformación a formas más o menos tóxicas mediante mecanismos de oxidación, reducción, metilación, dimetilación, formación de complejos, biosorción y acumulación intracelular (Gadd, 2004).

Las tecnologías más usadas para la remediación de suelos en México son las de biorremediación, que han surgido como alternativas para el saneamiento de suelos contaminados, la aceptación de la biorremediación como una estrategia de limpieza viable, en muchos casos depende de sus costos. Es decir cuando el método biológico propuesto es menos costoso que los tratamientos físicos y químicos viables para el tratamiento de un sitio y de un contaminante en particular. Así mismo muchas de las estrategias de biorremediación son competitivas en términos de costos y eficiencia sobre una matriz contaminada (Semple, et al, 2001).

2.2.1. Biopilas mezcladas.

Es un sistema de composteo sencillo que consiste en largos montículos alineados en paralelo sobre una superficie predeterminada y expuesta hacia la superficie. Antes de iniciar los pretratamientos se adiciona a la biopila los nutrientes necesarios, mezclándose para lograr la homogeneidad que permita la degradación. Durante el proceso es importante mantener la temperatura interior generada por el calor metabólico, así como la distribución adecuada de aire, agua, nutrientes y contaminantes, para ello la composta se mezcla manual o mecánicamente dependiendo de la actividad microbiana (Eweis, et al, 1998).

2.2.2. Atenuación natural.

Los resultados de la atenuación natural dependen de la presencia o ausencia de los microorganismos degradadores adecuados, oxígeno disuelto y el nivel de nutrientes y la biodisponibilidad de los contaminantes (Menéndez, et al, 2007).

Los procesos que contribuyen a la atenuación natural generalmente se encuentran en muchos lugares, pero con diferencias en cuanto a la aceleridad y a la eficacia según el tipo de contaminante y las características físicas, químicas y biológicas del suelo y del agua subterránea. Los procesos de atenuación natural a menudo se clasifican en

destruyentes y no destruyentes. Los procesos destruyentes destruyen el contaminante. Los procesos no destruyentes no destruyen al contaminante, sino que reducen su concentración. Los procesos de atenuación natural pueden reducir la masa del contaminante por medio de procesos destruyentes tales como biodegradación y transformaciones químicas. El proceso de atenuación natural reduce la concentración de los contaminantes por medio de la dispersión, volatilización, dilución, biodegradación y todas las reacciones que ayuden a la degradación de cualquier tipo de contaminante, y vuelve a contraer las características naturales de suelos fértiles a través del transcurso de muchos años. (Riser, et al, 1992).

2.2.3. Bioestimulación.

Esta estrategia radica en adicionar soluciones acuosas que contengan nutrientes como el nitrógeno y fósforo para mejorar la biodegradación de contaminantes orgánicos o para la inmovilización de los contaminantes inorgánicos. Se aplica en suelos contaminados con pesticidas y se ha comprobado buenos resultados con desechos de municiones. (Toledo y Torres 2009).

Antes de iniciar la remediación in situ propiamente dicha, es importante establecer el potencial de los microorganismos endógenos para metabolizar el material contaminante y valorar los factores limitantes a ser controlados durante el tratamiento. Otra condición que debe ser considerada para una biorremediación efectiva es el estado de los niveles de nutrientes en el lugar afectado (Menéndez, 2007).

2.2.4. Bioaumentación.

Esta técnica se aplica cuando los microorganismos de la micro flora son insuficientes para degradar los contaminantes y cuando se requiere el tratamiento inmediato del sitio contaminado, consiste en la adición de una alta concentración de microorganismos vivos capaces de

degradar los contaminantes. Se ha usado para tratar suelos contaminados con insecticidas, herbicidas y con desechos con altas concentraciones de metales (Toledo y Torres 2009).

2.2.5. Biolabranza.

Consiste en mezclar el suelo contaminado periódicamente con los nutrientes por medio del arado del mismo para favorecer la aireación, para optimizar la degradación las condiciones del suelo deben ser registradas constantemente. Se ha tratado con éxito los contaminantes como el diesel, lodos aceitosos, gasolina, algunos pesticidas. (Toledo y Torres 2009).

2.2.6. Compostaje.

Es un proceso biológico por medio del cual se trata los suelos contaminados mezclándolos con elementos orgánicos sólidos como paja, aserrín, estiércol y desechos agrícolas para regular la cantidad de nutrientes, aumentar la generación del calor y aireación, humedeciéndolos con fertilizantes líquidos que ayuden al proceso de descomposición de contaminantes y descomposición de la materia prima para regular la cantidad de nutrientes. Este proceso se utiliza principalmente en el tratamiento de residuos sólidos municipales, domésticos, de agricultura y fangos de depuradoras. (Toledo y Torres 2009).

El compostaje es un proceso biológico aerobio en el que los hidrocarburos u otro contaminantes son biodegradados en parte, y en parte también transformados en materia orgánica tipo humus. El funcionamiento del proceso en hileras o en pilas estáticas requiere de la optimización de la aireación, temperatura, humedad, y pH. (González y Rojas 2009).



Figura. 1. Proceso de compostaje de suelo contaminado.

Fuente: (BIOS oíl, S/F)

Cuadro 1. Ventajas y desventajas del proceso biológico de remediación.

Tratamientos	Ventajas	Desventajas
Tratamientos biológicos	<ul style="list-style-type: none"> *Son bajos en costos. *Son tecnologías más benéficas para el ambiente. *Los contaminantes generalmente son destruidos. *Se requieren un mínimo o ningún tratamiento posterior. *No requieren grandes cantidades de energía. *No produce dióxido de azufre ni otras emisiones dañinas. 	<ul style="list-style-type: none"> *Requieren mayores tiempos de tratamiento. *Es necesario verificar la toxicidad de los intermediarios y/o productos. *No pueden emplearse si el tipo de suelo no favorece el crecimiento microbiano.

Fuente: (Volke y Velasco, 2009).

2.3. Interpretación de resultados de análisis de fertilidad del suelo.

Para los suelos del sur del Ecuador se sugiere interpretar cualitativamente en cinco niveles. (Iñiguez, M. 2010).

2.3.1. Bajo.

Quiere decir que el suelo tiene un contenido bajo de nutrimentos disponibles por lo que es necesario aplicar una alta cantidad de fertilizantes. (Iñiguez, 2010)

2.3.2. Medio.

Quiere decir que el suelo tiene un contenido medio de nutrimentos disponibles por lo que es necesario aplicar una cantidad media de fertilizantes. (Iñiguez, 2010)

2.3.3. Alto.

Quiere decir que el suelo tiene un contenido alto de nutrientes por lo que es necesario aplicar una cantidad muy baja de fertilizantes. Los resultados que se encuentran fuera de este rango se los denomina como muy bajos o muy altos. (Iñiguez, 2010).

Tabla. 1. Interpretación de los principales nutrimentos del suelo para el sur del Ecuador, rangos críticos: mínimo, óptimo, y alto.

Nutrimento	Unid. de expresión	Bajo Mínimo	Medio Optimo	Alto Máximo
M.O.	%	2 - 4.	4.1 – 6	6.1 - 8.
N	Ppm	20 - 40.	40.1 – 60.	60.1 - 80.
P₂O₅	Ppm	10 – 20	20.1- 30	30.1 – 40
K₂O	Ppm	50 – 100	100.1 -150	150.1 - 200
Ca	me /100ml	2 – 4	4.1 – 6	6.1 – 8
Mg	me /100ml	0.60 – 1.20	1.3 – 1.8	1.9 – 2.4

Fuente. (Iñiguez, 2010).

2.4. MATERIA ORGÁNICA.

La MO y los microorganismos afectan grandemente la utilización del fósforo inorgánico, su acción se considera de dos formas:

La rápida descomposición de la MO produce una gran población microbiana que da como resultado una retención temporal de fosfatos inorgánicos sobre el tejido microbiano. El hecho de que la MO presenta más cargas negativas que positivas, es una cuestión de importancia. A veces se designa como humatos a los compuestos ácidos que se combinan con cationes formando sales orgánicas. (Iñiguez, 2010).

2.5. NITRÓGENO.

El nitrógeno que se encuentra en el suelo proviene en una proporción muy baja de las rocas y minerales; tiene su origen fundamentalmente en la fijación biológica del nitrógeno atmosférico. La incorporación se realiza bien por fijación simbiótica de bacterias del género *Rhizobium* localizadas en las raíces de las leguminosas (Rennie y Kemp 1983)

Las reservas nitrogenadas del suelo se encuentran, principalmente en estado orgánico, así por lo general más del 95% del nitrógeno presente en el suelo se encuentra en forma orgánica bajo la acción progresiva de la flora microbiana se irá mineralizando hasta las formas químicas que pueden ser asimiladas por las plantas. Dada la importancia de la reserva de nitrógeno orgánico y de las transformaciones microbianas, la disponibilidad y el destino del nitrógeno están íntimamente relacionados con la dinámica de la materia orgánica del suelo. (Juergens y Gschwind 1989).

2.5.1. Exceso y deficiencia de nitrógeno.

El nitrógeno es indispensable para el metabolismo de la planta. El suministro adecuado de nitrógeno produce hojas de color verde

oscuro, por motivo de una alta concentración de clorofila. El exceso o deficiencia afecta al normal desarrollo de la siguiente manera:

- Ocasiona un gran desarrollo aéreo, retraso en la maduración y con frutos de mala calidad biológica.
- Al ocasionar un gran desarrollo de la biomasa aérea, provoca una demanda extraordinaria de otros nutrimentos, que al no estar presentes en el suelo en forma disponible, provocan deficiencia de estos nutrimentos.
- Al ocasionar un gran desarrollo aéreo, presenta a la planta con mayor susceptibilidad a las condiciones meteorológicas (helada, sequia, viento), a enfermedades criptogámicas (esporas de hongos) y ataque de insectos.
- Una deficiencia de nitrógeno produce una vegetación raquítica, con hojas pequeñas y de color amarillento (clorosis) por una disminución de la clorofila. Los pigmentos verdes de la clorofila absorben la energía luminosa necesaria para iniciar la fotosíntesis. La clorofila ayuda a convertir el carbón, hidrogeno y oxígeno en azúcares simples. Estos azúcares y sus productos de conversión estimulan la mayor parte del crecimiento de las plantas.
- Una diferencia de nitrógeno, produce bajos niveles de proteínas en la semilla y puntos vegetativos en la planta.
- Una diferencia de nitrógeno extrema, incide en los bordes de las hojas con una coloración anaranjada a violeta en las hojas viejas, dado que este nutrimento se mueve con facilidad en las hojas jóvenes.
- Una diferencia de nitrógeno, produce plantas con un crecimiento lento, con menos hijuelos, con mayor número de hojas y una maduración acelerada con frutos de mala calidad biológica. (Iñiguez, 2010).

2.5.2. Fijación simbiótica.

La fijación simbiótica del nitrógeno se refiere a microorganismos que fijan el nitrógeno mientras crecen en asociación con una planta huésped, beneficiando a ambos (microorganismos – plantas) El mejor ejemplo es la asociación entre las bacterias del genero *Rhizobium* con sus especies *R. meliloti*, *R. trifolii*, *R. leguminosarum*, *R phaseoli*, *R. Lupini* y *R. Japonicum*. Las bacterias forman nódulos en las raíces de las leguminosas, estos nódulos fijan el nitrógeno de las atmosfera haciéndolo disponible para la leguminosa, estas contribuye con hidratos de carbono que proporcionan energía a los nódulos fijando así el nitrógeno. (Iñiguez, 2010).

2.6. FOSFORO.

Al igual que el nitrógeno, es un elemento que interviene prácticamente en todos los procesos metabólicos de la planta, ningún otro elemento es tan decisivo para una buena productividad. Las funciones del fosforo en los cultivares se resumen así:

- Interviene en la división celular y formación de albuminas.
- Actúa en la floración, fructificación y formación de semillas.
- Contrarrestar el efecto producido por el exceso de nitrógeno que retarda la madurez de las plantas.
- Interviene en el desarrollo de raíces particularmente de raicillas laterales y fibrosas.
- Robustecimiento de la paja de los cereales como trigo, cebada, avena, centeno, arroz y otros para prevenir el encamado.
- Resistencia a ciertas enfermedades debido a un desarrollo celular normal y metabolismo eficiente, y actúa sobre la calidad de forrajes y hortalizas. (Iñiguez, 2010)

2.6.1. Exceso y deficiencia de fosforo.

El exceso o deficiencia afecta en el normal desarrollo de las plantas de las siguientes maneras:

- Las alteraciones por exceso no suelen darse en la práctica, salvo el caso de aportaciones masivas y continuas de fertilizantes fosfatados que ocasionan deficiencias de hierro, por insolubilidad de este último elemento en el suelo.
- La deficiencia ocasiona un desarrollo débil de la planta tanto del sistema radicular como de la parte aérea, ocasiona hojas de menor tamaño y pueden deformarse.
- Ocasiona hojas con nervios pocos pronunciados y coloración azul, verdosa oscura con tintes bronceados o purpuras.
- Se presenta mayormente en las hojas viejas dado que el fosforo se mueve con rapidez de estas a las hojas jóvenes.
- Ocasiona aéreas necróticas en, frutos y tallos.
- Ocasiona un retraso de madurez del fruto y una disminución de rendimiento de la cosecha.
- Produce semillas de menor tamaño y rendimiento.
- Presenta síntomas menos visibles que los producidos por deficiencias de nitrógeno y potasio. (Iñiguez, 2010)

2.6.2. Fosforo total del suelo.

El fosforo elemental es químicamente muy activo. Debido a ello no se lo encuentra en estado puro en la naturaleza, se encuentra solo en combinación con otros elementos constituyendo el mineral apatito que al edafizarse proporciona el fosforo disponible que las plantas lo requieren. El

apatito es un mineral que contiene fosforo calcio flúor y cloro. (Iñiguez, 2010).

2.6.3. Fosforo en forma inorgánica en el suelo.

La mayor parte de estas formas pertenecen a dos grupos: Las que contienen hierro y aluminio. Las formas inorgánicas constituyen las combinaciones primarias como el apatito y las combinaciones secundarias, fosforo retenido por las arcillas e hidróxidos de hierro, aluminio, calcio y magnesio.

Cuando las plantas para su nutrición absorben el fosforo de la solución suelo, se produce un desequilibrio entre dicha solución y los coloides; pero cuando los vegetales disminuyen su poder absorbente, se restablece el equilibrio señalado. (Iñiguez, 2010).

2.6.4. Forma orgánica.

Representa del 20 al 60% del fosforo del suelo, procede de los restos de fosforo orgánico y su transformación en fosforo inorgánico la efectúan ciertas especies de bacterias, hongos y actinomicetos. Al igual que el nitrógeno, el fosforo orgánico tiene su ciclo de mineralización e inmovilización carbón, nitrógeno y fosforo orgánico se encuentra en el suelo en una proporción media de 100:10:1. (Iñiguez, 2010).

2.7.POTASIO.

El potasio es un nutrimento vital para las plantas. Los cultivos agronómicos contienen más o menos la misma cantidad de potasio que de nitrógeno, pero mucho más potasio que fosforo; y en muchos cultivos de alto rendimiento el contenido de potasio excede al de nitrógeno.

El papel del potasio en las plantas es variado, pero no se conoce ciertos aspectos del mismo. Actúa como regulador de las funciones de la planta, lo que se explica por su activa participación en los tejidos jóvenes en

pleno crecimiento, donde la división celular es más activa. Si existe deficiencia de este nutrimento se traslada de las hojas viejas a los tejidos meristemáticos jóvenes. Las funciones del potasio en la planta se resumen así:

- Actúa en la fotosíntesis, cuando hay deficiencia de potasio la fotosíntesis disminuye y es debido a que su escasez en las hojas incide en una baja asimilación del CO₂.
- Cuando el potasio se hace deficiente, la respiración de la planta aumenta.
- Al disminuir la fotosíntesis y la respiración, se reduce los carbohidratos de la planta.
- Interviene en la asimilación clorofílica. Su presencia favorece la síntesis en las hojas de los hidratos de carbono.
- Es indispensable para la síntesis de las proteínas.
- Favorece el mejor aprovechamiento del agua por la planta debido a que contribuye a mantener la turgencia celular, lo que trae como consecuencia una disminución de la transpiración cuando el agua escasea.
- Aumenta el contenido de minerales en la sabia, por lo que crea resistencia en la planta al frío y las heladas, e incrementa su resistencia a la salinidad y a los parásitos.
- Es importante en la formación de frutos.
- Activa enzimas y controla su velocidad de reacción.
- En combinación con el fósforo favorece el desarrollo de las raíces y da rigidez a los tejidos.

- Contribuye a la planta un macro elemento de equilibrio y resistencia a las enfermedades criptogámicas. Una fertilización adecuada con potasio reduce el stress producido por nematodos. (Iñiguez, 2010).

2.7.1. Exceso y deficiencia de potasio.

Cuando hay una cantidad excesiva de potasio asimilable las plantas absorben mayor cantidad de las que precisan, sin que ello repercuta en un aumento de la producción, por otra parte, un exceso en la absorción de potasio origina deficiencia de calcio, magnesio, hierro, y zinc.

Los síntomas de deficiencia de potasio asimilable se expresan en formas diversas:

- Existe un retraso en el crecimiento de la planta, las partes más afectadas son aquellas que acumulan sustancias de reserva como tallos, frutos, semillas y tubérculos constituidos fundamentalmente por glúcidos.
- Cuando la deficiencia se agudiza se produce quemado en los bordes de las hojas.
- El sistema radicular presenta un escaso desarrollo radicular, lo que impide una mayor absorción.
- Los tallos son débiles por lo que a mayor sople del viento se produce el encame con una disminución de la producción.
- Las semillas y los frutos son pequeños arrugados y de mala calidad.
- Las plantas presentan una resistencia baja a las enfermedades criptogámicas. (Iñiguez, 2010).

2.8. MAGNESIO.

El magnesio es considerado por muchos técnicos como un elemento de salud para el hombre, los animales y las plantas intervienen en los procesos vitales de la planta así:

- Forman parte de la clorofila de modo que está involucrado activamente en la fotosíntesis por lo tanto interviene en la formación de los hidratos de carbono.
- Ejerce un efecto favorable en la formación de proteínas y vitaminas.
- Aumenta la resistencia de la planta ante un medio adverso como: sequia, frio, plagas enfermedades.
- Interviene en la formación de los nódulos de las raíces de las leguminosas, con lo cual facilita la fijación del nitrógeno orgánico.
- Ayuda el metabolismo de los fosfatos, la respiración de la planta y la activación de numerosos sistemáticos enzimáticos. (Iñiguez, 2010).

2.8.1. Deficiencia de Magnesio.

- Las plantas crecen poco y dan menor rendimiento en hojas tallos y raíces.
- Las reservas de almidón en las hojas verdes descienden.
- Cuando la deficiencia es marcada las hojas bajas y viejas se tornan de color rojizo, las venas de las hojas de color negro, luego se secan conjuntamente con toda la planta.
- Aparecen hojas amarillas seguidas de la presencia de manchas pardas. (Iñiguez, 2010).

2.9. MERCURIO.

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. Este elemento ha dejado huella en la historia de la humanidad, con casos muy conocidos como el de Minamata, el envenenamiento por mercurio orgánico en Iraq, o la exposición a metilmercurio en el Amazonas, (Gochfeld, 2003)

Los metales pesados como el mercurio (Hg) son un problema creciente de contaminación ambiental a nivel mundial; este puede encontrarse en suelos de forma natural o debida a actividades antrópicas, como la explotación aurífera. En Colombia la cantidad de Hg liberado al ambiente en este tipo de actividad minera, se ha estimado entre 80 y 100 toneladas al año y por ello existe una gran cantidad de zonas altamente contaminadas que necesitan ser rehabilitadas. Una vez en el suelo, este contaminante puede transformarse en especies más tóxicas, ingresar a la cadena trófica y, finalmente llegar al hombre y generar graves problemas neurológicos y de teratogénesis. (Marrugo, y otros, 2010).

2.9.1. Concentración de Hg en el suelo.

La concentración del mercurio en el suelo determina el grado de toxicidad del suelo, de esta forma se podrá decidir el tipo de tratamiento de remediación que se debe aplicar, se puede remediarse con el uso de tratamientos biológicos o si se requiere utilizar tratamientos térmicos, fisicoquímicos u otros. (Marrugo, y otros, 2010)

2.9.2. Biodegradabilidad de Hg en el suelo.

La movilidad del mercurio en suelos queda determinada por la solubilidad de las especies químicas. Por encima de pH 5 y en

condiciones moderadamente oxidantes, su solubilidad es relativamente baja (56 ng/g) en condiciones ligeramente reductoras, el Hg precipita como sulfuro, HgS, cuya solubilidad es aún menor (0,002 ng/g). El Hg alcanza sus mayores solubilidades en ambientes muy bien oxigenados de 350 a 400 mili voltios (Adriano, 2001)

3. MARCO LEGAL.

3.1. CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR.

3.1.1. Ambiente sano.

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.

Art. 57. Se reconoce y garantizará a las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades indígenas, de conformidad con la Constitución y con los pactos, convenios, declaraciones y demás instrumentos internacionales de derechos humanos, los siguientes derechos colectivos:

Literal 7 “Conservar y promover sus prácticas de manejo de la biodiversidad y de su entorno natural. El estado establecerá y ejecutará programas, con la participación de la comunidad, para asegurar la conservación y utilización sustentable de la biodiversidad”.

3.1.2. Soberanía alimentaria.

Art. 281.- La soberanía alimentaria constituye un objetivo estratégico y una obligación del estado para garantizar que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades alcancen la autosuficiencia de alimentos sanos y culturalmente apropiados de forma permanente. Para ello será responsabilidad del Estado:

Literal 7. “Precautelar que los animales destinados a la alimentación humana estén sanos y sean criados en un entorno saludable”

Literal 8. “Prevenir y proteger a la población del consumo de alimentos contaminados o que pongan en riesgo su salud o que la ciencia tenga incertidumbre sobre sus efectos”.

3.1.3. Régimen del buen vivir.

Art. 409.- Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión.

En áreas afectadas por procesos de degradación y desertificación, el estado desarrollará y estimulará proyectos de forestación, reforestación y revegetación que eviten el monocultivo y utilicen, de manera preferente, especies nativas y adaptadas a la zona.

Art. 410.- El estado brindará a los agricultores y a las comunidades rurales apoyo para la conservación y restauración de los suelos, así como para el desarrollo de prácticas agrícolas que los protejan y promuevan la soberanía alimentaria.

4. TULSMA.

Art.1. Políticas básicas ambientales del Ecuador.

Literal. 17. “Reconociendo que todas las actividades productivas son susceptibles de degradar y/o contaminar y que, por lo tanto, requieren de acciones enérgicas y oportunas para combatir y evitar la degradación y la contaminación, hay algunas que demandan de la especial atención nacional por los graves impactos que están causando al ambiente nacional”

- Todas las actividades mineras (particularmente respecto al oro)
- Producción agrícola con uso indiscriminado de químicos (uso de fertilizantes, pesticidas y biosidas, en general).

5. NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS.

LIBRO VI ANEXO 2.

5.1. Suelo contaminado.

Todo aquel cuyas características físicas, químicas y biológicas naturales, han sido alteradas debido a actividades antropogénicas y representa un riesgo para la salud humana o el medio ambiente.

Los causantes por acción u omisión de contaminación al recurso suelo, a causa de derrames, vertidos, fugas, almacenamiento o abandono de productos o desechos peligrosos, infecciosos o hidrocarbúricos, deberán proceder a la remediación de la zona afectada, considerando para el efecto los criterios de remediación de suelos contaminados que se encuentran en la presente norma.

La entidad ambiental de control exigirá al causante la remediación del sitio contaminado y el monitoreo de las acciones de remediación, hasta alcanzar los objetivos o valores de remediación establecidos en la presente norma.

5.2. De las actividades que degradan la calidad del suelo.

Las organizaciones públicas o privadas dedicadas a la comercialización, almacenamiento y/o producción de químicos, hidroelectricidad, exploración y explotación hidrocarbúrica, minera, y agrícola, tomarán todas las medidas pertinentes a fin de que el uso de su materia prima, insumos y/o descargas provenientes de sus sistemas de producción y/o tratamiento, no causen daños físicos, químicos o biológicos a los suelos.

5.3. Remediación del suelo contaminado.

Se deberá evaluar y adoptar el método más idóneo de remediación, actividad que dependerá de la sustancia contaminante presente y que será decisoria en el momento de elegir los criterios técnicos para cada caso en particular.

5.4. Tratamiento biológico.

Independiente del tratamiento que el regulado adopte, los suelos contaminados deberán alcanzar los niveles de concentración establecidos en los criterios de remediación de suelos establecidos en la presente Norma. Los valores serán aplicados de acuerdo al uso de suelo donde se sitúa el área contaminada.

5.5. Criterios de remediación o restauración del suelo.

Los criterios de remediación o restauración se establecen de acuerdo al uso que del suelo (agrícola, comercial, residencial e industrial), y son presentados en la siguiente tabla. Tienen el propósito de establecer los niveles máximos de concentración de contaminantes de un suelo en proceso de remediación o restauración.

Tabla 2. Criterios de remediación o restauración del suelo. Límites máximos permisibles.

SUSTANCIA	UNIDAD DE CONCENTRACIÓN EN PESO SECO.	SUELO AGRÍCOLA.
Textura	Milímetros	
pH	%	6 – 8
Conductividad E.	mmhos/c	2
Mercurio	mg/kg	0.8

Fuente. TULSMA Libro VI, anexo 2, tabla 3.

5.6. Textura del suelo.

Grado de consistencia, conforme al tamaño de las partículas o los grupos que lo constituyen. Es la Proporción relativa de arena, limo y arcilla.

5.7. Potencial de hidrogeno

La reacción de acidez y alcalinidad se mide en términos de pH de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 3. Rangos de potencial de hidrogeno.

Ph	Rango
Muy fuertemente ácido	Menor a 4.5
Fuertemente ácido	4.6 a 5.5
Medianamente ácido	5.6 a 6
Ligeramente ácido	6.1 a 6.5
Neutro	6.6 a 7.3
Ligeramente alcalino	7.4 a 7.8
Moderadamente alcalino	7.9 a 8.4
Fuertemente alcalino	8.5 a 9
Muy fuertemente alcalino	Mayor a 9.1

Fuente. TULSMA, libro VI, anexo 2, tabla 4.

5.8. Conductividad eléctrica.

Todos los suelos fértiles contienen por lo menos pequeñas cantidades de sales solubles. La acumulación de sales solubles en el suelo se atribuye principalmente a problemas de drenaje y a la acción de riegos continuados, seguidos de evaporación y sequía.

Cuando un suelo tiene un exceso de sales solubles se le denomina suelo salino. La medida de la conductividad eléctrica (CE) del suelo y de las aguas de riego permite estimar en forma casi cuantitativa la cantidad de sales que contiene. El análisis de la CE en suelos se hace para

establecer si las sales solubles se encuentran en cantidades suficientes como para afectar la germinación normal de las semillas, el crecimiento de las plantas o la absorción de agua por parte de las mismas.

6. LEY ORGÁNICA REFORMATORIA A LA LEY DE MINERÍA, A LA LEY REFORMATORIA PARA LA EQUIDAD TRIBUTARIA EN EL ECUADOR, Y A LA LEY ORGÁNICA DE RÉGIMEN TRIBUTARIO INTERNO. JUNIO 2013.

Art. 17. Prohibición del uso del mercurio en operaciones mineras. Sin perjuicio de la aplicación de la normativa minera 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.

Art. 57. Las afectaciones al ambiente y el daño al ecosistema y biodiversidad producidos a consecuencia de la explotación ilícita o invasiones, serán considerados como agravantes al momento de dictar las resoluciones respecto del amparo administrativo.

7. Otros estudios realizados.

Mediante un estudio realizado en México por Álvarez (2004), sobre: Evaluación del efecto de diferentes pre tratamientos fisicoquímicos sobre la biodegradación por composteo de hidrocarburos de petróleo presentes en un suelo intemperizado. Para ello el trabajo fue ejecutado de la siguiente manera:

- Se colectó suelo contaminado con hidrocarburos de una región pantanosa.
- El suelo recolectado se tamizó con una malla de N° ocho y se dejó seco a temperatura ambiente. Se determinó la concentración de hidrocarburos totales del petróleo (HTP).

- El suelo tamizado y seco se dividió en cuatro partes iguales (nueve kilos) y se sometió a diferentes tratamientos fisicoquímicos.

Para mejorar las propiedades físicas del sistema de composteo (porosidad y capacidad de retención de agua), así como para favorecer el balance de nutrientes necesarios para el crecimiento de microorganismos, se adicionó al suelo una mezcla de compuestos orgánicos de fácil degradación tales como: aditivos, estiércol de caballo fuente de microorganismos y sales, bagazo de zanahoria fuente de vitaminas y azúcares, composta estable fuente de microorganismos especializados y bagazo de caña fuente de porosidad y retención de agua. Además de los aditivos mencionados, se adicionó azúcar a las biopilas con el objeto de ajustar la relación C/N.

Cada biopila se preparó con aproximadamente 9 kl de suelo seco y con aproximadamente 4.5 kl de los aditivos antes mencionados (relación suelo: aditivos, 2:1). La mezcla se homogenizó y se colocó en recipientes de plástico, de acuerdo a los pretratamientos realizados: I) pre tratamiento electroquímico, II) pre tratamiento con surfactante, III) pre tratamiento con tolueno y IV) control (sin pre tratamiento). Posteriormente se le agregó agua a cada biopila hasta una humedad de 55 %.

Los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

- El pH no tuvo un aumento significativo, éste se mantuvo en un rango de 6.5 a 7.3.
- En el contenido de cenizas se observó un incremento, lo que indica que hubo biodegradación de la materia orgánica presente.
- Respecto al contenido de los hidrocarburos se puede apreciar que hubo una nueva disminución en su concentración.

- Los cambios observados en todos estos parámetros indican que el segundo pretratamiento realizado, así como la inoculación a las biopilas favoreció el proceso.
- Los microorganismos degradan primero los compuestos alifáticos que son compuestos de fácil asimilación, en comparación con los compuestos poli aromáticos y asfáltenos (Atlas, 1984).



Figura 2. **Sistema experimental (biopilas)**

Entre otras conclusiones obtenidas de detalla la siguiente:

- El empleo de desechos orgánicos de fácil biodegradación como agentes de volumen son muy útiles y económicos en el proceso de composteo, mejorando la estructura de la biopila, incrementando la porosidad, permitiendo una mejor biodisponibilidad de oxígeno y un contenido de humedad adecuado, manteniendo activa las poblaciones microbianas.

8. Estudio dos.

Otro estudio realizado en la universidad ESPOCH 2008, Ecuador sobre Evaluación de dos sustratos en la técnica de Landfarming para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos, la metodología que se empleo fue la siguiente: Se realizó el estudio de aplicación de dos sustratos orgánicos. (Compost y Bocashi), variando la concentración de los sustratos en 10% 20% y 30% además se evaluó un tratamiento testigo, para el compostaje se utilizó los siguientes elementos: Fibra de la palma africana,

cascarilla de arroz, aserrín, bagazo de caña, estiércol de animales, leguminosas, vegetales tiernos, compost para iniciar el desarrollo de la actividad microbológica, carbón, levadura, melaza, agua, cal agrícola.

Las conclusiones que se obtuvieron son las siguientes:

- La elaboración de bocashi se efectuó en un tiempo de trece días, se obtuvo un producto de coloración grisácea, aspecto suelto y polvoso, con un contenido de 25,78 % de COT, 1,2 % de N, 1.903 mg/m de K, un pH 7.97 ligeramente alcalino.
- Los sustratos orgánicos compost y bocashi presentan características fisicoquímicas y microbiológicas aceptables para biorremediación por Landfarming.
- La caracterización del suelo demuestra que se encuentra en estado degradado, con un contenido de 4.208 mg/kg de TPH, superior al límite permisible y 0,46 mg/kg.
- Aplicando el proceso de biorremediación con Landfarming durante cuatro meses se logró disminuir en todos los tratamientos la concentración de TPH en un rango del 62,30% - 72,37% metales pesados en un rango de cadmio 2.90% - 35.04% Níquel 5,41%- 15,85% y plomo 12,20- % - 34,96% todos por debajo de los límites permisibles para uso en suelos agrícolas.
- El mejor sustrato para la biorremediación de TPH en la presente investigación es el bocashi.
- El mejor sustrato para biorremediación metales pesados lo presenta el compost.
- Los sustratos bocashi y compost no representan diferencias significativas en el proceso de descontaminación por lo cual son aptos para ser utilizados para biorremediar hidrocarburos por la técnica de Landfarming

E. MATERIALES Y MÉTODOS.

1. Los materiales y equipos que se utilizaron para la investigación fueron:

- GPS equipo utilizado para el reconocimiento del área y levantamiento de coordenadas en UTM WGS 84.
- GOOGLE EARTH.- Programa utilizado para ubicar la zona afectada que permitió visualizar la fotografía.
- Palas o barrenos.-Herramientas utilizadas para el muestreo.
- Machete.- Herramienta utilizada para desbrozar el área de muestreo.
- Bolsas de plástico.- Recipientes resistentes, impermeables utilizados para colocar las distintas sub muestras que fueron recolectadas.
- Mesa de madera.- Utilizada para la composición de muestras.
- Papel adhesivo.- Utilizado para embalaje y etiquetado de las muestras.
- Equipos, materiales e instrumentos. -Utilizados en laboratorio para el análisis químico del suelos.
- Juego de escuadras.- Utilizadas para integrar la plantilla y cerrar el cuadrado.
- Plomada.- Utilizada para escuadrar el área total donde se realizó la investigación.
- Postes.- Utilizados para cerrar el cuadrado donde se realizó la investigación.
- Alambre de púa.- Utilizado para templar sobre los postes y evitar el ingreso de animales.

- Martillo, y playo.- Utilizados para el temple del alambre de púa.

Herramientas agrícolas utilizadas para el tratamiento del suelo afectado tales como:

- Carretilla.- utilizada para el transporte de los materiales.
- Azadones.- Utilizados para la remoción del suelo afectado.
- Rastrillo.- Utilizado para rastrillar el terreno y desmenuzar terrones.
- Palas.- Utilizadas para apilar el suelo afectado.
- Piola.- Utilizada para el trazado de las parcelas.
- Flexómetro.- Utilizado para la medición de las parcelas.
- Barreta.- Utilizada para la plantación de postes.

2. MÉTODOS.

Los métodos utilizados para realizar la investigación se detallan a continuación:

2.1. Ubicación del área de estudio.

La presente investigación se la realizó en una playa del río Yacuambi, específicamente en el barrio San Antonio, perteneciente a la parroquia Guadalupe, cantón Zamora, provincia Zamora Chichipe, aproximadamente a unos 38 Km de la cabecera cantonal, el mismo que se encuentra a una altura de 870 msnm, y limita con los siguientes barrios: Al norte con el barrio Muchime, al sur con la parroquia Guadalupe, al este con el río Yacuambi, y al oeste con el barrio Numpam, y San Sebastián.

2.2. Ubicación geográfica.

El área donde se realizó la investigación se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas: UTM

Tabla 4. Ubicación geográfica del sector.

PUNTOS	COORDENADAS UTM/WGS 84	
	X	Y
1	0733765	9577755
2	0733863	9577795
3	0733535	9578336
4	0733422	9578288

2.3. Hidrografía.

Su curso principal es el río Yacuambi, se origina en los páramos de Matanga y drena sus aguas con una dirección norte-sur. Debido a sus altas precipitaciones torrenciales las aguas han logrado perder su cauce específicamente en la época de invierno y es así como se han formado las playas hace millones de años atrás, donde hoy en la actualidad son explotadas de una manera ilegal.



Fotografía 1. Ubicación del area de investigación. Fuente. Google earth.

2.4. Características climáticas.

El clima de Guadalupe barrio “San Antonio” se caracteriza por ser cálido húmedo aun que suele variar de tropical a subtropical, su temperatura oscila de 21 a 24 °C. Fuente (POT G, 2009-2014).

3. Tipo de investigación / estudio. Correlacional.

3.1. VARIABLES.

3.1.1. INDEPENDIENTE.

Fertilidad del suelo, crecimiento de la especie.

Indicadores de la variable: % MO, Hg y macronutrientes a través de un nuevo análisis de suelos, y número de semillas prendidas por m².

3.1.2. DEPENDIENTE.

Su valor depende de la variable independiente. Prendimiento de semillas por m². Mejor rendimiento.

Indicador de la variable: número de semillas prendidas por m².

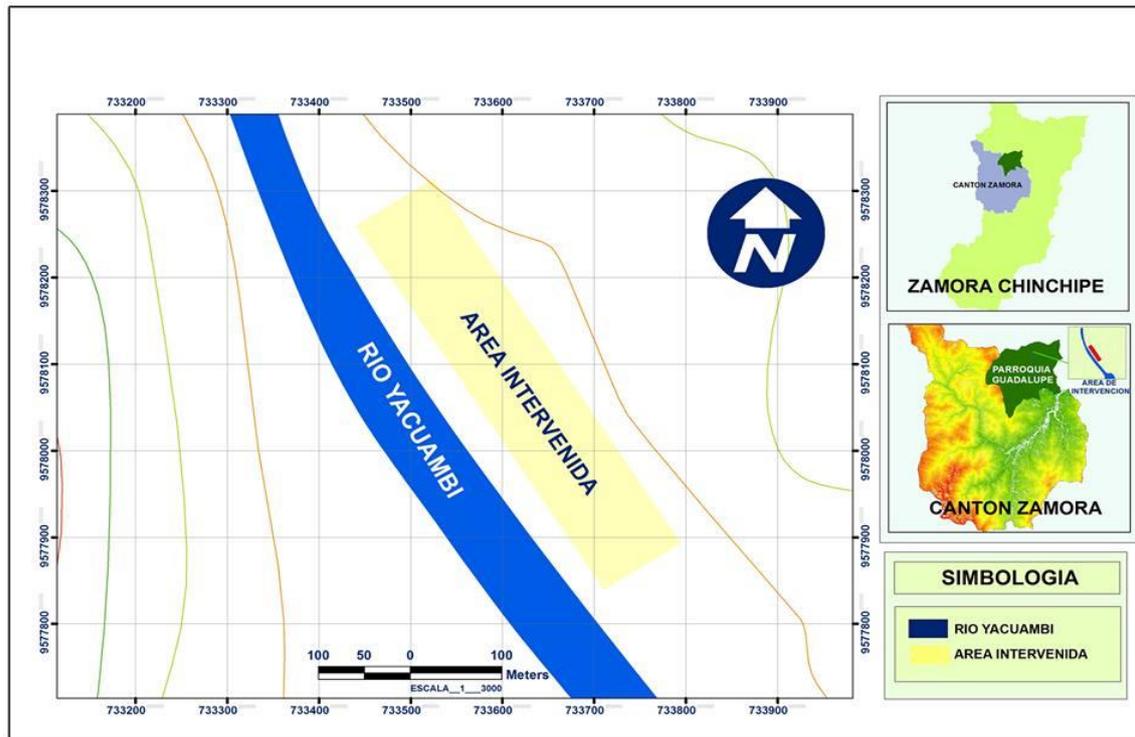
4. METODOLOGÍA PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO UNO:

Realizar el diagnóstico de la fertilidad del suelo y determinar el grado de contaminación por mercurio del área en estudio.

4.1. Delimitación del área para muestreo del suelo.

Para delimitar el área en estudio se procedió al levantamiento de coordenadas en UTM del área intervenida y del área no intervenida con el propósito de elaborar un mapa, del área en estudio, y con la finalidad de determinar el tipo de muestreo que se puede emplear para recolectar las muestras de las dos áreas.

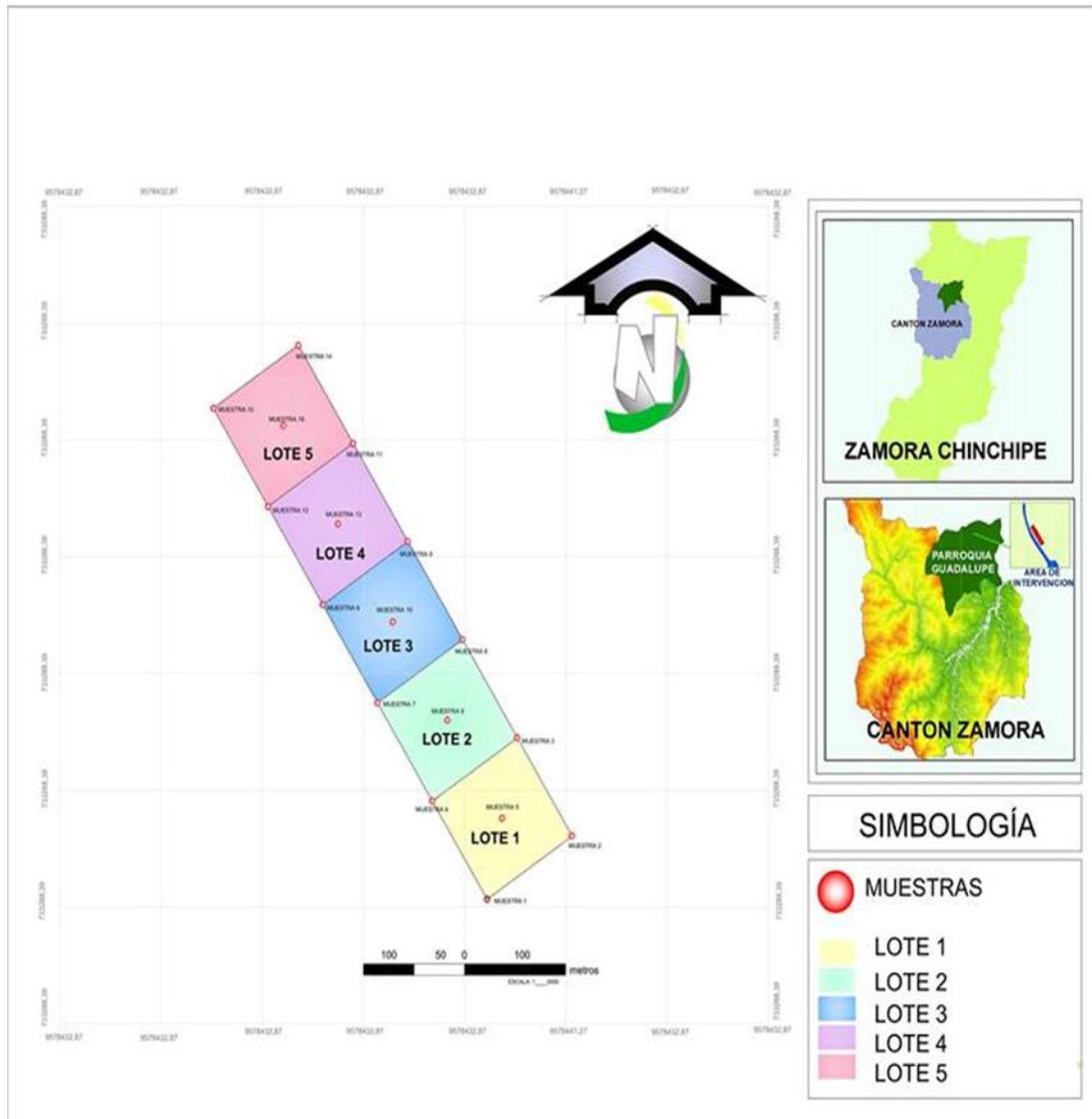
El área total de la zona en estudio es de 5 Ha, de las cuales se encuentran intervenidas en un 96.5%, que representa a 4.82 Ha, y un 3.5% que representa a un 0.18 Ha restantes no son intervenidas por minería, por motivo de mantener un sistema de cultivo agrícola asociado.



Mapa 1. Esquema de ubicación del área de investigación.

4.2. Tipo de muestreo.

El muestreo que se empleó fue un muestreo sistemático que se lo realizó en base al mapa elaborado, el cual consistió en tomar un punto de referencia y a partir de ese punto se midió 100 m al cuadrado, y un punto al centro, de esta forma se recolectaron 5 sub muestras de cada Ha.



Mapa 2. Delimitación de las 5 Ha para muestreo del suelo.

4.3. Protocolo de muestreo.

4.3.1. Tipo de envase.

Los envases que se utilizaron para la recolección de las muestras fueron fundas ZIPLOCK.

4.3.2. Tipo de muestra.

Las muestras que se recolectaron fueron muestras compuestas.

4.3.3. Procedimiento para la obtención de las muestras de suelo del área intervenida por minería.

- En cada punto elegido se eliminó la cobertura vegetal, se limpió la superficie del suelo descartando todo el rastrojo y restos de maleza o hierbas.
- Con una pala se efectuó cortes, de 25 cm de profundidad, se cavo una primera palada (haciendo un hoyo en forma de V) arrojándola al costado, y luego una segunda palada de 3 cm de grosor aproximadamente, descartando los bordes mediante un corte a cuchillo, se colocó en una funda ZIPLOCK grande.
- Se recolecto una sub muestra de cada vértice y una del centro obteniendo un total de 5 sub muestras de cada Ha; de las 5 sub muestras obtenidas se aplicó el método del cuarteo, se integró una solo muestra de 1 kg de cada Ha para el respectivo análisis de laboratorio.

El método del cuarteo se lo realizó de la siguiente manera:

- Se colocó sobre una mesa, cerámica y sobre la cerámica el material desmenuzado, se mezcló tirando de las esquinas opuestas, alternando las diagonales.
- Luego se dividió en cuatro partes, de las cuales se guardó una, se volvió a mezclar y se repitió el cuarteo hasta que se llegó al peso final de 1 kg.



Fotografía 2. Selección de muestras a través del método del cuarteo

Posteriormente se etiqueto las muestras listas para ser enviadas al laboratorio de la Universidad Nacional de Loja para su respectivo análisis de fertilidad.



Fotografía. 3. Muestras listas para ser enviada al laboratorio.

4.3.4. Procedimiento para la obtención de la muestra de suelo del área no intervenida.

Para la obtención de la muestra del área no intervenida se recolecto 5 sub muestras para conformar una sola muestra compuesta a través del método del cuarteo de la siguiente manera:

- Debido a que el área es pequeña de aproximadamente de 30 x 70 m, que representa a 0.18 Ha, se sacó una sub muestra en cada vértice y una en el centro.
- Se utilizó de igual forma el método del cuarteo y se formó una sola muestra compuesta de 1 Kg.



Fotografía 4. Área no intervenida.

Fotografía 5. Muestreo del área.

4.3.5. Etiquetado y envío de las muestras.

Se envaso las muestras representativas finales para el respectivo análisis de laboratorio en fundas de plástico ZIPLOCK con su respectiva identificación las mismas que llevaron la siguiente información:

1. Fecha:
2. Lugar de la muestra:
3. Código:
4. Cantidad de hectáreas a las que representa:
5. Cantidad de sub muestras tomadas para formar la muestra:
6. Profundidad a la cual fue tomada:
7. Nombre del muestreador:

4.3.6. Parámetros para análisis de laboratorio para fertilidad.

Los análisis de fertilidad del suelo se realizaron en el laboratorio de la UNL de Loja en el Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables los siguientes parámetros:

1. Textura.
2. pH.
3. Materia orgánica.
4. Nitrógeno disponible.
5. Fosforo disponible.
6. Potasio disponible.
7. Calcio disponible.
8. Magnesio disponible.
9. Conductividad eléctrica.

4.3.7. Muestreo de suelo para análisis de Hg en el área intervenida por minería.

En el muestreo para el análisis de mercurio se aplicó la misma metodología de recolección que para el análisis de fertilidad con la diferencia de la profundidad que fue de 50 cm.

Todas las sub muestras recolectadas del área intervenida conformaron una sola muestra compuesta a través del método del cuarteo obteniendo un peso final de 1 Kg para su respectivo análisis de laboratorio.

4.3.8. Muestreo de suelo para análisis de Hg en el área no intervenida.

Para la recolección de las sub muestras en el área no intervenida se realizó el mismo procedimiento utilizado para fertilidad a una profundidad de 50 cm.

Todas las sub muestras recolectadas del área no intervenida conformaron una sola muestra compuesta a través del método del cuarteo obteniendo un peso final de 1 Kg para su respectivo análisis de laboratorio.

4.4. Análisis de laboratorio para mercurio.

Una vez preparadas las dos muestras procedentes de las zonas intervenida por minería y no intervenida se procedió al envío hacia la ciudad de Quito al laboratorio GRUNtec ENVIRONMENTAL SERVICES, acreditado por la OAE (Organismo de Acreditación Ecuatoriano), con la finalidad de verificar si existe presencia del metal.

4.5. Interpretación de resultados de laboratorio del área intervenida por minería y del área no intervenida.

- Se procedió a comparar los resultados de los análisis de laboratorio del área intervenida por minería, con el área no intervenida.
- Una vez realizada la comparación de las dos áreas se procedió a comparar con los requerimientos necesarios aptos para un suelo agrícola en relación a la base de datos de un estudio realizado por Iñiguez, (2010),

en la tabla de interpretación de los principales nutrientes del suelo para el sur del Ecuador.

- Luego de la interpretación se realizó el diagnóstico de las propiedades que el suelo ha perdido a través del proceso de intervención minera.
- Con los análisis del área no intervenida se procedió de igual forma a comparar si se encuentra dentro de los requerimientos aptos para suelos agrícolas con relación a la base de datos de un estudio realizado por Iñiguez, (2010), en la tabla de interpretación de los principales nutrientes del suelo para el sur del Ecuador.

4.6. Interpretación del resultado de laboratorio del área intervenida por minería para mercurio.

Con el resultado obtenido del análisis de laboratorio para mercurio se procedió a la comparación con el TULSMA, libro VI, anexo 2, tabla 3, donde dicta los criterios de remediación o restauración (valores máximos permitidos) para suelos remediados.

4.7. Interpretación del resultado de laboratorio del área no intervenida por minería para mercurio.

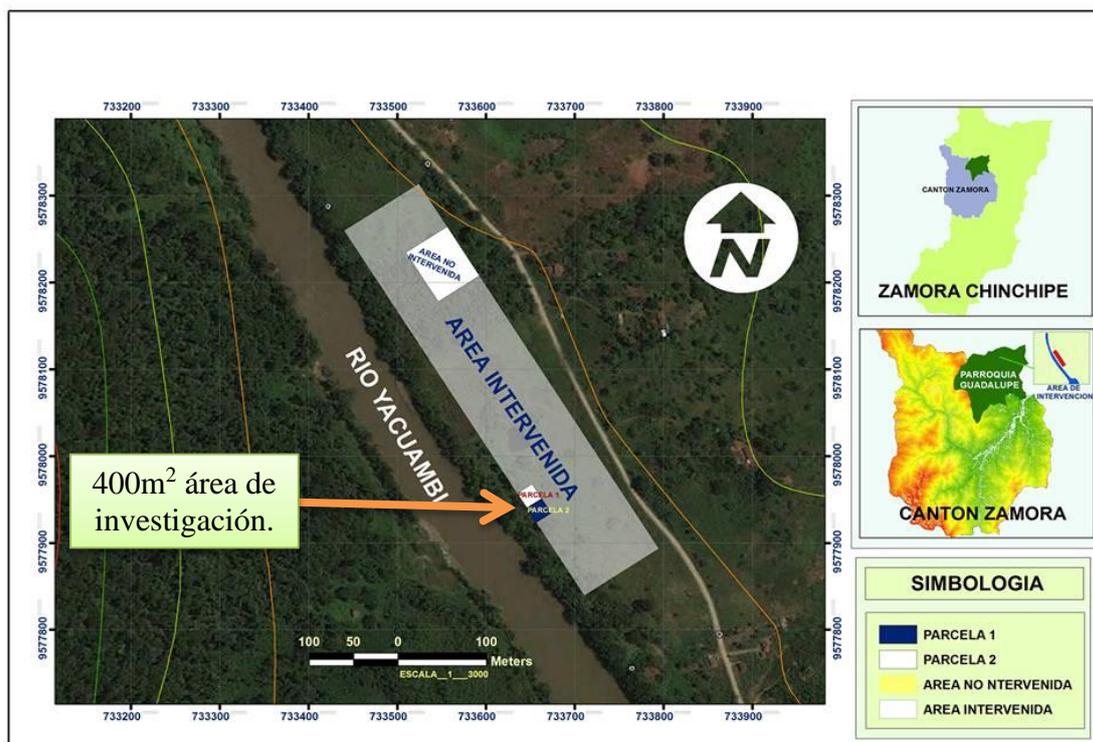
De igual manera con el resultado obtenido del análisis de laboratorio para determinar la concentración de mercurio se procedió a la comparación con el TULSMA, libro VI, anexo 2, tabla 2, donde dicta los niveles máximos permisibles para criterios de calidad y tabla 3 donde dicta los criterios de remediación o restauración (Valores Máximos Permitidos) para suelos agrícolas.

5. METODOLOGÍA PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO DOS:

Remediar suelos contaminados y mejorar la fertilidad del suelo a través de la técnica de biopilas.

5.1.Reconocimiento y delimitación del área para la investigación de remediación.

El lugar específico donde se realizó la remediación del suelo fue dentro de las 5 Ha en una zona recientemente alterada e intervenida por minería ilegal para ello se realizó el siguiente proceso.



Mapa 3. Delimitación del área de investigación para la remediación.

- Se escuadro una parcela con medidas de 20m x 20m obteniendo un total de 400 m² para la investigación de remediación.
- Los 400 m² se dividió en dos parcelas, cada una de 200 m² utilizadas de la siguiente manera: Una para la remediación del suelo, y la otra que sirvió como área de referencia o testigo de la investigación.

- Se procedió a la plantación de postes para el cerramiento de las dos parcelas para la investigación.
- Posteriormente se procedió al cercado con alambre agrícola de púa con la finalidad de evitar el ingreso de animales hacia la zona de investigación.

5.2. Construcción de biopilas.

Una vez listo el cerramiento del área para la investigación se procedió a la construcción de las biopilas de la siguiente manera:

- Los 200 m² para realizar el ensayo de remediación se dividió en tres partes, es decir se construyó tres biopilas.
- Los otros 200 m² se los dejó en las mismas condiciones luego del proceso de intervención minera.
- En el área que se realizó la investigación de remediación se procedió a mover y apilar la tierra en el mismo sitio con la utilización de picos, azadones, lampones, rastrillos etc. para la elaboración de las biopilas, y suministrar el respectivo tratamiento al suelo.
- Cada biopila se la realizó de 2 m de ancho por 50 cm de alto y 20 m de largo y al centro un metro para facilitar el trabajo y darle seguimiento.



Fotografía 6. Proceso de elaboración de las biopilas in situ.

Para proceder al apilamiento del suelo se adicionó los siguientes elementos distribuidos en partes iguales para cada biopila.

- Veinte sacos de gallinaza.
- Seis sacos de estiércol de ganado bovino.
- Tres sacos de estiércol de cobayos.
- Seis sacos de humus de lombriz.
- Tres sacos de nutrisano.
- Seis sacos de tierra fértil biológica.
- Un balde de 20 litros de miel de caña bajado la viscosidad con agua.
- Un saco de cal agrícola.
- Desechos de origen de producción hortícola, frutícola, florícola.
- Tres sacos de arrobos de carbón molido.
- Un saco de harina de rocas.

- Veinte litros de bÍol.
- Un saco de 25 libras de ceniza.
- Diez litros de Té de frutas a base de miel de caña, guayaba madura, zapote, guineo maduro seda, y levadura que se utilizó para humedecer al suelo al momento del volteo, y para acelerar el proceso de descomposición de la materia prima.

5.3. Manejo y seguimiento de biopilas.

- Una vez construidas las biopilas se procedió a tapar con un plástico negro cada una de las biopilas, y se le dio el seguimiento acorde a las condiciones climáticas que presento durante el periodo: fecha de inicio cuarta semana de marzo, fecha de culminación primera semana de junio, es decir se le dio seguimiento por el lapso de 9 semanas.
- Debido a que las temperaturas fueron bajas en las noches y altas en el día, se le dio el respectivo volteo cada ocho días, teniendo precaución de la temperatura en las biopilas.
- Se utilizó biofertilizantes líquidos como es el Té de frutas utilizando en mayor proporción la guayaba, bÍol, y cachaza.
- Mediante el volteo que se le dio al suelo se verifico el proceso de descomposición, y transformación de la materia prima. Las características que fue presentando el suelo tales como: color, olor presencia de lombriz, y otros seres vivos que se los pudo visualizar a simple vista en las biopilas.

5.4. Toma de muestras del suelo en el área remediada para el análisis de fertilidad y mercurio.

- Luego del proceso de remediación es decir a la décima semana se procedió a extender el suelo de las biopilas en toda el área de estudio 200m².



Fotografía 7. Preparación del área remediada para muestreo, y siembra de la especie de pasto brachiaria.

- Se recolecto una sub muestras de cada vértice y una del centro, obteniendo un total de 5 sub muestras, se formó una sola muestra compuesta de 1 kg a través del método del cuarteo que fue enviada al laboratorio con su respectivo etiquetado e identificación para su nuevo análisis tanto de fertilidad como de mercurio.
- Para fertilidad se tomó a una profundidad de 25 cm, y para mercurio a una profundidad de 50 cm.

5.5. Los indicadores que se analizaron fueron.

1. Textura.
2. pH.
3. Materia orgánica.
4. Nitrógeno disponible.
5. Fosforo disponible.
6. Potasio disponible.

7. Calcio disponible.
8. Magnesio disponible.
9. Conductividad eléctrica.
10. Grado de concentración de mercurio en el suelo.

5.6. Interpretación de resultados del laboratorio para fertilidad y mercurio.

- Con los resultados del análisis del área remediada se procedió a comparar con los resultados del análisis del área intervenida por minería con la finalidad de verificar la eficacia del trabajo realizado.
- También se procedió a comparar los resultados obtenidos con una base de datos de un estudio realizado por Iñiguez, 2010, y con el TULSMA, donde se dictan los requerimientos de macronutrientes aptos para un suelo agrícola.
- Para el indicador de mercurio se procedió a comparar con los niveles máximos permisibles para agricultura que se dictan en el TULSMA, libro VI anexo 2, tabla 3.

6. METODOLOGÍA PARA EL OBJETIVO ESPECÍFICO TRES:

Comprobar la efectividad de la técnica aplicada para remediar suelos y evaluar el mejoramiento de fertilidad a través de la implementación de un sistema pastoril.

6.1. Siembra de una especie brachiaria decumbens.

La décima semana luego del proceso de remediación del suelo se procedió a implementar una especie de pasto brachiaria decumbens que sirvió como indicador por las siguientes razones:

- Se adapta fácilmente a las condiciones climáticas de la región Amazónica.
- Resistente a enfermedades.

- Resistente a sequías y heladas.
- Alto contenido de proteínas.
- Además de tener todas estas cualidades se ha comprobado que ésta especie se extingue en suelos intervenidos por minería al primer semestre luego de la siembra.

La siembra se la realizó de la siguiente manera:

- Una vez que se obtuvo el terreno listo tanto del área remediada (200m²) como el área que sirvió como punto de referencia o testigo (200m²) se procedió a subdividir las dos áreas de la siguiente manera:
- Con la utilización de un flexómetro se midió las dos parcelas a una distancia de un metro todo el contorno del área de estudio 400 m², este trabajo se lo realizo con la finalidad de templar una piola y poder contabilizar en número de semillas sembradas al boleó por m², y proporcionar el respectivo seguimiento en lo que es germinación, crecimiento de la especie, floración y establecimiento total del pasto.



Fotografía 8. Subdivisión del terreno para la siembra del pasto.

- Se procedió a pesar 25 semillas en una balanza electrónica que dio un peso de 0.35 g, las mismas que fueron distribuidas al boleó por cada m².
- Los 0.35 g, que fue para cada m² se multiplico por los 200 m² obteniendo un peso total de 70 g que fueron distribuidas al boleó en cada parcela de 200m² (Área remediada, y punto de referencia o testigo)



Fotografía 9. Peso de semillas para cada m².



Fotografía 10. Peso de semillas para 100 m².

6.2. Monitoreo y seguimiento de brachiaria.

Una vez implementado el sistema pastoril en las dos parcelas se procedió a suministrar el respectivo seguimiento y monitorear los siguientes parámetros:

- Tiempo de germinación a partir de la siembra de brachiaria decumbens en cada parcela.
- Se controló que no exista la inserción de malas hierbas.
- Se contabilizó a los cuantos días de la siembra germinaron las semillas en cada parcela.
- Se midió el nivel de crecimiento de la especie cada 15 días hasta que el sistema pastoril fue completamente establecido.

- Se contabilizó a los cuantos días florece las plantas en cada parcela.
- Se contabilizó en número de plantas con deficiencias notables.
- Posteriormente se contabilizo a los cuantos días floreció y está establecido por completo el pasto en cada área o parcela “remediada y testigo”.



Fotografía 11. Seguimiento y monitoreo del crecimiento del pasto.

Cuadro 2. Germinación de semillas brachiaria decumbens.

ÁREA	N° de semillas sembradas (peso).	N° de semillas prendidas.	% de germinación.	Tiempo días.
Remediada				
Testigo.				

Cuadro 3. Comportamiento agronómico de brachiaria decumbens.

ÁREA	Fecha de siembra.	Germinación	Altura de las plantas			
			15 días	30 días	45 días	75 días
Remediada						
Testigo.						

Cuadro 4. Porcentaje de cobertura de brachiaria decumbens a los dos meses y medio.

ÁREA	TIEMPO MESES	COBERTURA %	FLORACIÓN
Remediada.			
Testigo			

Cuadro 5. Control de plantas de brachiaria decumbens con deficiencia.

ÁREA	N° De semillas sembradas, peso en g.	m ² de pasto con deficiencia	% de pasto con deficiencia	N° de plantas con deficiencia.
Remediada				
Testigo				

F. RESULTADOS.

1. Resultados del primer objetivo específico. Realizar el diagnóstico de la fertilidad del suelo y determinar el grado de contaminación por mercurio del área en estudio.

Cuadro 6. Resultados de fertilidad del suelo de las áreas intervenida y no intervenida.

ÁREA INTERVENIDA				ÁREA NO INTERVENIDA.			INDICADORES			
Indicador	Unidad	Promedio	Denominación	Indicador	Promedio	Denominación	TULSMA	Interpretación de los principales nutrimentos del suelo para el sur del Ecuador. Iñiguez, 2010.		
								Mínimo	Optimo	Alto
Text.			F arenoso			F. arenoso	APTO			
pH	pH	7.26	Neutro	pH	6.72	Neutro	6 - 8			
M.O	%	1.44 %	Bajo	M.O	7.4%	Alto		2 - 4.	4.1 - 6	6.1 - 8.
N	ppm	39.15	Bajo	N	133.45	Alto		20 - 40.	40.1 - 60.	60.1- 80
P₂O₅	ppm	26.6	Medio	P₂O₅	32.3	Alto		10 - 20	20.1- 30	30.1 - 40
K₂O	ppm	81.18	Bajo	K₂O	203.6	Alto		50 -100	100.1-150	150.1 -200
Ca	me/100g	3.042	Bajo	Ca	6.40	Alto		2 - 4	4.1 - 6	6.1 - 8
Mg. Dis.	me/100g	1.03	Bajo	Mg. Dis.	1.08	Bajo		0.6 -1.20	1.3 - 1.8	1.9 - 2.4
C. E	mmhos/c	0.46	No salino	C. E	0.70	No salino	2			

1.1. Textura.

Mediante análisis de laboratorio realizado la textura que presentan los dos resultados tanto del área intervenida como del área no intervenida, de acuerdo al TULSMA, libro VI, anexo 2, se ubica dentro de la clasificación de las texturas moderadamente gruesas como un suelo franco arenoso, es decir: Tiene un máximo de 15% de arcilla, de 15 al 35% entre limo y arcilla, y más del 45% de arena gruesa.

1.2. Potencial de hidrogeno.

Mediante análisis de laboratorio realizado los resultados del indicador de potencial de hidrogeno que presentan las dos muestras son: área intervenida 7.26 pH, área no intervenida 6.72 pH, denominadas como neutro de acuerdo al TULSMA libro VI, anexo 2, tabla 4. Los mismos que se los pueden ubicar dentro de la clasificación en el rango aptos para agricultura que se dictan de 6 a 8 de pH.

1.3. Materia orgánica.

Mediante análisis de laboratorio se comprobó la pérdida de materia orgánica que ha sufrido el suelo por el proceso de intervención minera, presentándose en un porcentaje de 1.44 % de MO, denominado como bajo en el área intervenida, en relación al suelo del área no intervenida, que presenta un porcentaje de 7.4 % denominado como alto. De acuerdo a la base de datos de estudios realizados por Iñiguez 2010, la clasificación es la siguiente: de 2 a 4% bajo, de 4.1 a 6% medio, y de 6 a 8 alto.

1.4. Nitrógeno.

Mediante análisis de laboratorio se comprobó la pérdida de nitrógeno que ha sufrido el suelo por el proceso de intervención minera presentando un nivel de 39.15 ppm, denominado como bajo en el área intervenida, en relación al suelo del área no intervenida, presentando un nivel de 133.45 ppm, denominado como alto. De acuerdo a la base de datos de un estudio

realizado por Iñiguez, 2010, la clasificación es la siguiente: de 20 a 40 ppm bajo, de 40.1 a 60 ppm medio, y de 60.1 a 80 ppm alto.

1.5. Fosforo.

Mediante análisis de laboratorio se comprobó la pérdida de fósforo que ha sufrido el suelo por el proceso de intervención minera presentándose en un nivel de 26.6 ppm, denominado como medio en el área intervenida, en relación al suelo del área no intervenida, presentándose en un nivel de 32.3 ppm, denominado como alto. De acuerdo a la base de datos de un estudio realizado por Iñiguez, 2010, la clasificación es la siguiente: de 10 a 20 ppm bajo, de 20.1 a 30 ppm medio, y de 30.1 a 40 ppm alto.

1.6. Potasio.

Mediante análisis de laboratorio se comprobó la pérdida de potasio que ha sufrido el suelo por el proceso de intervención minera presentándose en un nivel de 81.18 ppm, denominado como bajo en el área intervenida, en relación al suelo del área no intervenida, presentándose en un nivel de 203.6 ppm, denominado como alto. De acuerdo a la base de datos de estudios realizado por Iñiguez 2010, la clasificación es la siguiente: de 50 a 100 ppm bajo, de 101 a 150 ppm medio, y de 150.1 a 200 ppm alto.

1.7. Calcio.

Mediante análisis de laboratorio se comprobó la pérdida de calcio que ha sufrido el suelo por el proceso de intervención minera presentándose en un porcentaje de 3.042, meq/100g, denominado como bajo en el área intervenida, en relación al suelo del área no intervenida, presentándose en un porcentaje de 6.40 meq/100g, denominado como alto. De acuerdo a la base de datos de un estudio realizado por Iñiguez, 2010, la clasificación es la siguiente: de 2 a 4 me/100g bajo, de 4.1 a 6 me/100g medio, y de 6.1 a 8 me/100g alto.

1.8. Magnesio.

Mediante análisis de laboratorio realizado se comprobó que en este indicador existió un pequeño agotamiento reduciéndose la disponibilidad de este nutriente de 1.08 me/100g del área no intervenida, a 1.03 me/100g, en el área intervenida denominados como bajos. De acuerdo a la base de datos de un estudio realizado por Iñiguez, 2010, la clasificación es la siguiente: de 0.6 a 1.2 me/100g bajo, de 1.3 a 1.8 me/100g medio, y de 1.9 a 2.4 me/100g alto.

1.9. Conductividad eléctrica.

Mediante análisis de laboratorio realizado se comprobó que la conductividad eléctrica en las dos áreas presentan características similares denominadas como suelos no salinos, presentándose en un nivel de 0.46 Mmhos/cm en el área intervenida, mientras que en el área no intervenida es 0.70. Mmhos/cm. De acuerdo al TULSMA, libro VI, anexo 2, dicta que un suelo no salino presenta las características como sus extractos de saturación igual 2 Mmhos/cm, el pH varía entre ligeramente ácido a ligeramente alcalino.

1.10. Resultados de los análisis de mercurio.

Cuadro 7. Resultado del análisis de mercurio.

ÁREA INTERVENIDA			ÁREA NO INTERVENIDA.			Lim. Max. Per	Lim. Max. Per
Sustancia	Resultado	Unidad	Sustancia	Resultado	Unidad	Criterios de remediación	Criterios de calidad
Hg	8.4	mg/kg	Hg	0.5	mg/kg	0.8 mg/kg	0.1 mg/kg

Mediante el análisis de laboratorio realizado se comprobó que la concentración del mercurio en el área intervenida es de 8.4.mg/kg, mientras que en el área no intervenida es 0.5 mg/kg

2. Resultados del segundo objetivo específico: Remediar suelos contaminados y mejorar la fertilidad del suelo a través de la técnica de biopilas.

2.1. Resultados obtenidos del área intervenida por minería y del área remediada para agricultura.

Cuadro 8. Resultados de fertilidad del suelo de las áreas intervenida y remediada.

ÁREA INTERVENIDA				ÁREA REMEDIADA			INTERPRETACIÓN			
Indicador	Unidades	Promedio	Denominación	Indicador	Promedio	Denominación	TULSMA	Interpretación de los principales nutrimentos del suelo para el Sur del Ecuador. Iñiguez, 2010.		
Textura			F. arenoso			F. arenoso	APTO	Mínimo	Optimo	Máximo
pH	pH	7.26	Neutro	Ph	6.01	Lig. Ácido	6 - 8			
M.O	%	1.44 %	Bajo	M.O	6.4 %	Alto		2 - 4	4.1 - 6	6.1 - 8
N	ppm	39.15	Bajo	N	60.78	Alto		20 - 40	40.1- 60	60.1- 80
P₂O₅	ppm	26.6	Medio	P₂O₅	73.46	Alto		10 - 20	20.1- 30	30.1- 40
K₂O	ppm	81.18	Bajo	K₂O	23.45	Bajo		50 -100	100.1- 150	150.1-200
Ca	me/100g	3.042	Bajo	Ca	6.86	Medio		2 - 4	4.1 - 6	6.1 - 8
Mg	me/100g	1.03	Bajo	Mg	1.37	Medio		0.6 -1.2	1.3 - 1.8	1.9 - 2.4
C. E	mmhos/cm	0.46	No salino	C. E	2.77	Ligeramente salino.	2			

Valoración económica para remediación de una hectárea de terreno intervenido por minería.

La cantidad aproximada utilizada de compost para remediar 200 m² fue de 20 quintales, logrando incrementar de 1.44 a 6.4% de M O es de decir se incrementó un 4,96% de MO. Relacionando los resultados obtenidos se tiene que para remediar una Ha de suelo intervenido por minería se necesita 1000 quintales de compost para lograr llegar hacia el rango óptimo, de manera que para elevar un 1% de MO se necesita 200 quintales de compost por Ha.

Cuadro 9. Relación costo beneficio de compost por Ha.

INSUMO	SUPERFICIE	CANTIDAD EN QUINTALES	VALOR UNITARIO	TOTAL
Compost	1Ha	1000	5 \$	5 000 \$

La cantidad utilizada de cal agrícola para los 200 m² fue 1 saco, de manera que para 1 Ha se necesitaría 50 sacos para el respectivo encalado de un suelo intervenido por minería.

Cuadro 10. Relación costo beneficio de cal por Ha.

INSUMO	SUPERFICIE	CANTIDAD EN QUINTALES	VALOR UNITARIO	TOTAL
Cal Agrícola	1 Ha	50	2.50\$	125 \$

La cantidad de miel o melaza utilizada para los 200 m² fue de 5 galones de manera que para remediar una hectárea se necesita 250 galones.

Cuadro 11. Relación costo beneficio de miel por Ha.

INSUMO	SUPERFICIE	CANTIDAD EN GALONES	VALOR UNITARIO	TOTAL
Miel/ Melaza	1 Ha	250	2.\$	500 \$

2.1.1. Textura.

Mediante análisis de laboratorio realizado, la textura que presenta el área remediada es franco arenoso es decir no existe cambio de textura luego del proceso de remediación.

2.1.2. Potencial de hidrogeno.

Mediante análisis de laboratorio realizado el indicador de potencial de hidrogeno del área remediada se lo ha identificado en un rango de 6.01 de pH denominado como ligeramente acido, apto para agricultura.

2.1.3. Materia orgánica.

Mediante análisis de laboratorio se comprobó la efectividad del proceso de remediación en biopilas para este indicador, obteniendo un resultado de 6.4 % de MO en el área remediada.

2.1.4. Nitrógeno.

Mediante análisis de laboratorio se comprobó la efectividad del proceso de remediación en biopilas para este indicador, obteniendo un resultado de 60.78 ppm denominado como alto.

2.1.5. Fosforo.

Mediante análisis de laboratorio se comprobó la efectividad del proceso de remediación en biopilas para este indicador, obteniendo un resultado de 73.46 ppm, denominado como alto en el área remediada.

2.1.6. Potasio.

Mediante análisis de laboratorio realizado se determinó que existió un agotamiento de potasio en el área remediada, obteniendo un resultado de 23.45 ppm denominado como bajo.

2.1.7. Calcio.

Mediante análisis de laboratorio se comprobó la efectividad del proceso de remediación en biopilas para este indicador, ya que se obtuvo un resultado de 6.86 meq/100 ml en el área remediada, es decir pasa de bajo a medio.

2.1.8. Magnesio.

Mediante análisis de laboratorio realizado el resultado que se obtuvo para este indicador fue de 1.37 me/100g ubicándose en un rango medio en el área remediada, es decir pasó de bajo a medio, logrando un incremento de 0.34 me/100g en relación al área intervenida.

2.1.9. Conductividad eléctrica.

Mediante análisis de laboratorio se determinó la conductividad eléctrica, en el área remediada presentándose en un nivel de 2.77mmhos/cm denominado como ligeramente salino.

2.2. Análisis de los resultados obtenidos del área intervenida por minería y del área remediada para mercurio.

Cuadro 12. Resultados obtenidos del área intervenida y del área remediada para mercurio.

ÁREA INTERVENIDA			ÁREA REMEDIADA			Lim. Max. Per	Lim. Max. Per
Sustancia	Resultado	Unidad	Sustancia	Resultado	Unidad	Criterios de remediación	Criterios de calidad
Hg	8.4	mg/kg	Hg	0.4	mg/kg	0.8 mg/kg	0.1 mg/kg

Mediante análisis de laboratorio se determinó la concentración de mercurio en el área remediada el mismo que luego del proceso de remediación se obtuvo un resultado de 0.4 mg/kg.

3. Resultados del tercer objetivo específico: Comprobar la efectividad de la técnica aplicada para remediar suelos y evaluar el mejoramiento de fertilidad a través de la implementación de un sistema pastoril.

3.1. Resultados de la siembra de brachiaria decumbens.

Cuadro 13. Germinación de semillas de brachiaria decumbens.

ÁREA	N° de semillas sembradas (peso)	N° de semillas prendidas	% de germinación	Tiempo Días
Remediada	5000 70 g	4750	95%	8
Testigo.	5000 70 g	2250	45%	15

El número de semillas que fueron sembradas en el área remediada fue de 5000, con un peso total de 70g de las cuales 4750 semillas germinaron que corresponde al 95% en el área remediada, en el área testigo también se sembraron 5000 semillas de las cuales germinaron 2250 que corresponde al 45%.

Cuadro14. Comportamiento agronómico de la siembra de brachiaria decumbens.

ÁREA	Fecha de siembra	Germinación. Días	Altura de las plantas en cm			
			15 días	30 días	45 días	75 días
Remediada	08/06/2014	8	48	58	68	85
Testigo.	08/06/2014	15	5	8	9	12

La siembra de las semillas de brachiaria decumbens se realizó el ocho de junio del presente año en las dos áreas remediada y testigo, la semilla en el área remediada germinó a los ocho días luego de la siembra, mientras que en el área que sirvió como testigo germinó a los quince días, la altura de las plantas en el área remediada a los dos meses y medio fue de 85 cm, mientras que en el área que sirvió como testigo fue de 12 cm.

3.1.1. Cobertura y floración de brachiaria decumbens en el área remediada y testigo.

Cuadro15. Porcentaje de cobertura y floración de la brachiaria decumbens.

ÁREA	MESES	COBERTURA %	FLORACIÓN %
Remediada.	2½	100	100
Testigo.	2½	10	0

El porcentaje de cobertura, y floración en el área remediada fue de 100%, a los dos meses y medio, mientras que en área testigo la cobertura fue de 10% y no existió floración.

3.1.2. Control de plantas que presentan aspectos de mal formación.

Cuadro16. Control de plantas con deficiencia.

ÁREA	N° De semillas sembradas.	m ² de pasto con deficiencia	% de pasto con deficiencia	N° de plantas con deficiencia.
Remediada	5000 -70 g	10 m ²	5%	250
Testigo	5000 -70 g	200 m ²	100%	2250

Autor: Vladimir Armijos Valarezo.

Del total de plantas sembradas en el área remediada un 5% que representa a 10 m² presentó indicios de mal formación del pasto, es decir 250 plantas aproximadamente presentaron un color amarillento, mientras que en el área que sirvió como testigo todo el pasto presentó indicios de mal formación desde la germinación hasta el último monitoreo que se realizó a los dos meses y medio a partir de la germinación.

G. DISCUSIÓN.

1. Para los resultados del primer objetivo específico.

1.1. Textura.

La textura de las dos áreas muestreadas intervenida y no intervenida presentan características denominadas como suelos franco arenosos, este resultado se da posiblemente debido a la presencia del río Yacuambi. El área intervenida presenta las mismas características luego del proceso de extracción aurífera, debido al trabajo que realizan, la capa aprovechable agrícola es colocada a un costado para luego del proceso de explotación minera cubrir nuevamente el material de mina con suelo agrícola, que puede ser utilizado para diferentes fines luego de un proceso de remediación, ya que estos suelos al ser removidos son compactados, y pierden la porosidad natural requerida para la oxigenación. Según Calvo Anta (1996) menciona que los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías de acuerdo a las diferentes texturas que se caracterizan los suelos: quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la solución del suelo o bien fijados por procesos de adsorción, complejación y precipitación; ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas; pasar a la atmósfera por volatilización; movilizarse a las aguas superficiales o subterráneas.

Tomando en cuenta las cuatro diferentes vías de transporte y contaminación antes mencionadas por este autor, desde el punto de vista analítico personal en la investigación realizada puedo afirmar que el mercurio en este tipo de suelos franco arenosos se mantiene en la superficie debido a su viscosidad del metal, las pequeñas partículas de mercurio son retenidas por las pequeñas partículas de arena fina manteniéndose en la superficie en concentraciones provocadas por el proceso de extracción minera, de manera que si existe acción microbiana, u otro proceso que pueda transformar el mercurio de la forma inorgánica a la forma orgánica

podría ser remediada y no ser absorbidas por las plantas, caso contrario mediante un análisis bromatológico se podría verificar si estas plantas son fitorremediadora de este metal.

1.2. Potencial de hidrogeno.

El pH de las dos áreas muestreadas presentan características similares, este resultado se da posiblemente debido a la no utilización de sustancias o compuestos que puedan alterar el equilibrio que mantiene estos suelos en este indicador. El potencial de hidrogeno posiblemente varía significativamente debido al tipo de textura del suelo, en este caso como son franco arenosos no puede existir cambios significativos para este indicador. Según Miliarium Aureum (2004) el pH del suelo está relacionado estrechamente con la textura ya que es un factor esencial. La mayoría de los metales pesados tienden a estar más disponibles a pH ácidos en suelos no salinos en la superficie terrestre, mientras que en suelos salinos estos metales pueden ser adsorbidos hacia la capa freática debido a la clasificación textural.

Desde el punto de vista personal, y aseverando científicamente con lo antes mencionado por el autor se confirma que el mercurio en este tipo de suelos no salinos se mantiene en la superficie y está disponible hasta que otro agente pueda transformarlo de acuerdo al tratamiento que se le dé, y a la utilidad de estos suelos.

1.3. Materia orgánica.

El área intervenida presenta un porcentaje de MO de 1.44%, este resultado se da debido al proceso de intervención minera, ya que para realizar la extracción de oro en estas playas se procede a apilar el suelo dando lugar a obtener una mezcla homogénea tanto de la parte externa, interna, y media de la capa aprovechable agrícola, de esta forma se pierde la cantidad de MO, una vez el suelo apilado en montículos mediante precipitaciones de lluvia se produce la lixiviación de las macronutrientes. La

pérdida del porcentaje de materia orgánica también se puede dar debido a la presencia y toxicidad por mercurio en el suelo. Según el autor Zhong (s.f) menciona que la presencia de metales pesados en el suelo provoca cambios adversos en las propiedades químicas del suelo. Pues al comparar los dos resultados del área intervenida 1.44% y del área no intervenida 6.72% se puede confirmar lo antes mencionado por este autor.

1.4. Nitrógeno.

La pérdida de nitrógeno disponible en el área intervenida por minería se dio posiblemente por el bajo contenido de materia orgánica en el suelo, ya que para obtener nitrógeno disponible y asimilable en el suelo para las plantas depende de un ciclo de procesos que está conformado por diferentes componentes tales como: microorganismos, plantas leguminosas, materia orgánica, y el tipo de roca existente en el lugar. El agotamiento de nitrógeno también se dio posiblemente por lixiviación al momento de ser el suelo apilado sin ningún tipo de precaución. Según Olivares (2008) afirma que el nitrógeno puede hallarse en el suelo derivado del contenido mineral del mismo, de aquel que se pueda incorporar de la atmósfera capturado por las plantas leguminosas, o de la biotransformación de las moléculas orgánicas que lo contienen formando parte de los restos vegetales y animales que allí llegan o de los propios microorganismos que lo habitan. Según Lee Morgan (1981) las principales formas por las que el nitrógeno se pierde en los suelos o deja de ser utilizable por las plantas es a través de las transformaciones cuando el suelo permanece empapado durante un período prolongado y existe bastante materia orgánica para proporcionar energía a las bacterias, el nitrógeno del suelo se puede agotar. En un suelo empapado se puede producir también la lixiviación del nitrógeno en el sistema de aguas subterráneas o a otros afluentes, quedando fuera del alcance de las plantas. El nitrógeno también se puede perder en suelos que tengan un pH elevado y estén a temperaturas altas, convirtiéndose en gas de amoníaco, a este cambio se le da el nombre de volatilización, por último la escorrentía también pueden provocar la eliminación del nitrógeno de los suelos.

Tomando en cuenta lo antes mencionado por el autor puedo afirmar que la pérdida de nitrógeno en el área intervenida se da por la apilación de la capa superficial aprovechable, lixiviación, pérdida de la cobertura natural (plantas leguminosas), y ausencia de acción microbiana en el suelo.

1.5.Fosforo.

El fosforo en el suelo del área intervenida por minería, ha sufrido un pequeño agotamiento posiblemente debido a la pérdida de materia orgánica del suelo, y a la inexistencia de acción microbiológica por el proceso de remoción, y apilamiento del suelo. Estudios realizados por una empresa privada Smart fertilización inteligente (2008) afirma que el fósforo se encuentra en los suelos tanto en forma orgánica como inorgánica y su solubilidad en el suelo es baja, la cantidad del fósforo disponible en el suelo es muy baja en comparación con la cantidad total del fósforo en el suelo. Los tipos de compuestos de fósforo que existen en el suelo son principalmente determinados por el pH del suelo, por el tipo y la cantidad de los minerales en el suelo. En suelos ácidos el fósforo tiende a reaccionar con aluminio, hierro y manganeso, mientras que en suelos alcalinos, la fijación dominante es con el calcio. El rango de pH óptimo para la disponibilidad máxima del fósforo es de 6.0 - 7.0, en muchos suelos la descomposición de la materia orgánica y los residuos de cultivos contribuyen al fósforo disponible para las plantas.

Mediante el estudio realizado en la presente investigación y aseverando con los estudios realizados por la empresa Smart fertilización inteligente puedo confirmar que la pérdida de fósforo disponible y asimilable para las plantas se dio por la ausencia de materia orgánica y acción microbiológica en el suelo, mas no por el pH, de tal manera que si existe una reducción de materia orgánica, e inexistencia de acción microbiológica se está perdiendo la cantidad de fósforo disponible y asimilable para las plantas.

1.6.Potasio.

La pérdida de potasio muy significativa se dio posiblemente en esta área intervenida por minería debido al exceso de humedad, y la compactación, ya que al momento de ser recubiertos los boquetes se encuentran llenos de agua y al ir ubicando tanto el material de mina y luego la capa aprovechable agrícola estos suelos son saturados y es ahí precisamente cuando se produce la lixiviación del potasio que se encuentra retenido en la arcilla de este macro elemento esencial para el desarrollo de las plantas, otra parte se puede dar por lixiviación mediante las precipitaciones mientras el suelo es apilado durante el tiempo de extracción del mineral. Según Sardi (1992) y Buhman (1993), mencionan que varias investigaciones confirmaron que el sistema agrícola no tiene otra vía de ingreso natural para el balance de potasio que la reposición primaria proveniente de la liberación de los minerales primarios y secundarios, siendo preponderante la participación de la fracción arcilla. Los minerales arcillosos son la fuente principal de potasio en el suelo. El potasio se encuentra en los suelos como componente de la roca madre en forma natural, especialmente en los suelos ricos en arcillas, que contienen hasta un 3 %. En los suelos pantanosos y los pobres en arcilla el contenido de compuestos de potasio es menor y puede ser deficitario, originando problemas en los cultivos. Únicamente el que está en la disolución de suelo, es el asimilable por las plantas. Los compuestos de potasio del suelo son lavados (lixiviados) con facilidad en las zonas de altas precipitaciones, suelos pantanosos, suelos compactados etc.

Mediante el estudio realizado en la presente investigación y aseverando con lo antes mencionado por los autores puedo confirmar que la pérdida de potasio en suelos intervenidos por minería se da por saturación, exceso de humedad, y lixiviación por la presencia de abundante agua en el suelo. De tal manera que el potasio disponible y asimilable para las plantas está estrechamente relacionado con la textura, y estructura del suelo, las

mismas que al ser intervenidas por minería son modificadas significativamente.

1.7. Calcio.

El agotamiento del calcio en el suelo del área intervenida por minería de acuerdo a la investigación realizada se da posiblemente por el agotamiento de la materia orgánica, y a la inexistencia de acción microbiana, ya que los microorganismos actúan como facilitadores para la disponibilidad de este macro elemento esencial para las plantas. Posiblemente también se pudo dar por lixiviación y en parte por solubilidad por exceso de agua. Según Ibáñez (2009) afirma que si los nutrientes extraídos con la biomasa y arrumados en otro sitio no son restaurados de la misma manera que fueron extraídos, el suelo se empobrece y pierde gran parte de sus macronutrientes primarios y secundarios y por lo general su fertilidad, por lo que la producción agrícola y pastoral se ven seriamente amenazadas.

Según Navarro y Navarro (2002) afirman que la descalcificación se produce por el agua de lluvia que contiene una pequeña cantidad de gas carbónico y es capaz de disolver la caliza existente en el suelo, de tal forma que el calcio es arrastrado a capas más profundas en forma de bicarbonato de calcio.

Mediante el estudio realizado en la presente investigación y aseverando con lo antes mencionado por los autores puedo confirmar que el agotamiento del calcio en el suelo intervenido por minería se da al momento que el suelo es almacenado en montículos con la presencia de precipitaciones de lluvia, este macro elemento es lavado, y lixiviado, ya sea a los boquetes realizados para la extracción del mineral, o al río Yacuambi que esta junto al área en estudio.

1.8. Magnesio.

El magnesio es otro macro elemento al igual que el calcio, al momento que existe apilamiento del suelo en montículos, mediante precipitaciones es lavado con facilidad y son lixiviados hacia la superficie de los boquetes, y otra parte hacia los afluentes cercanos. La baja disponibilidad de Mg en el área no intervenida puede ser debido a la textura franco arenoso del suelo, ya que en estos suelos puede existir la filtración en ciertos lugares donde el suelo no es compactado. En un estudio realizado por Abrego (2012) afirma que en las zonas de mucha lluvia el agua lixiviana lava o arrastra los nutrientes básicos específicamente el Ca y Mg. En otro estudio realizado por la empresa Smart fertilización inteligente (2008) afirma que el magnesio está presente en las siguientes 3 fracciones: magnesio en la solución del suelo que está fácilmente disponible para las plantas, magnesio intercambiable consiste en el magnesio sorbido a las partículas de arcilla y materia orgánica, magnesio no intercambiable no está disponible para las plantas.

Mediante el estudio realizado en la presente investigación y aseverando con lo antes mencionado puedo confirmar que los macro elementos en su mayoría son lavados al momento de ser apilado el suelo en montículos, por las precipitaciones y lixiviados hacia la superficie del suelo, otra parte a los afluentes cercanos, y es así como se da un desequilibrio total de los macronutrientes del suelo por el proceso de intervención minera.



Fotografía 12. Proceso en el cual se da la lixiviación de los macronutrientes mediante la explotación de oro

1.9. Conductividad eléctrica.

La conductividad eléctrica tanto del área intervenida como del área no intervenida presentan características que están dentro de un rango óptimo para realizar cualquier tipo de agricultura, este resultado posiblemente se dio debido al proceso de remoción del suelo favoreciendo de manera involuntaria, ya que al momento de ser apilado el suelo en montículos las sales han sido lixiviada, de igual forma al momento de cubrir los boquetes en gran parte el suelo es mezclado con material de mina. De esta forma se evita la concentración de sales que pueden afectar a la germinación de diferentes cultivos en estos suelos.

Desde el punto de vista personal y aseverando con el estudio realizado antes descrito puedo afirmar que la conductividad eléctrica en estos suelos intervenidos por minería son aptos para realizar agricultura de manera que no afectan al crecimiento ni producción de los diferentes

sistemas de cultivos para este indicador. De acuerdo la clasificación de los niveles máximos permisibles dictados en el TULSMA libro VI.

1.10. Mercurio

La concentración de mercurio en el área intervenida se da debido a la utilización directa de este metal para la captación del oro, al momento que el material de mina pasa sobre las mallas posiblemente son arrastradas junto al material pequeñas partículas de mercurio, de ésta forma se está contaminando el suelo mediante el proceso de extracción minera, Una vez pasado el material de mina sobre las mallas de clasificación el material nuevamente es utilizado para reponer los boquetes sin ningún tipo de análisis ni remediación, siendo en gran parte mezclado el material de mina con el suelo de la capa aprovechable agrícola, es así como quedan contaminadas todas las áreas donde se realizan trabajos extractivistas de mineral oro. Luego que estos suelos son contaminados el mercurio en estos suelos franco arenosos permanece en la superficie debido a su densidad, y viscosidad este metal es retenido por las partículas diminutas de arena en la superficie del suelo, y puede ser remediado, fitoremediado etc. mediante cualquier técnica de aplicación. (Armijos, 2014).

De acuerdo a los niveles máximos permisibles que se dictan en el TULSMA LIBRO VI (anexo 2) tabla 3 de la norma de calidad ambiental del recurso suelo para criterios de remediación o restauración está sobrepasando los límites máximos permisibles, de esta forma puedo afirmar que estos suelo intervenidos por minería necesitan ser remediados para realizar cualquier tipo de agricultura.

De igual forma mediante interpretación personal puedo afirmar que los suelos que están cerca a las áreas mineras no pueden certificarse como suelos que brinden productos de calidad ya que mediante análisis de laboratorio el resultado obtenido en el área no intervenida es 0.5 mg/kg, comparado con TULSMA LIBRO VI (anexo 2) tabla 2 que se dictan

para criterios de calidad es 0.1 mg/kg. De esta manera presumo que la contaminación de un suelo que este junto a un área minera se esté dando por solubilidad, o lixiviación.



Fotografía 13. Contaminación del suelo mediante la clasificación del material de mina por la utilización de mercurio.

2. Para los resultados del segundo objetivo específico.

2.1. Textura.

La textura de un suelo remediado mediante biopilas in situ no sufre ninguna alteración debido al tratamiento aplicado, ya que simplemente es aplicación de materia prima orgánica a ser descompuesta a través de la función específica de los microorganismos y hacer disponible, y asimilable para la nutrición de las plantas. La textura en estos suelos intervenidos por minería y remediados posiblemente puede tener influencia negativa en el proceso de reforestación con especies que tengan características de

enraizamiento profundo ya que no será posible debido a la saturación del suelo. Al momento de ser tapados los boquetes existe mezcla de material de mina con suelo agrícola haciendo que el suelo quede compacto, saturado de agua y sin aireación necesaria para la penetración de las raíces. Según Raghavan et al (1990) menciona que la compactación del suelo puede ser definida como la compresión de una masa de suelo a un volumen más pequeño, en este proceso cambios en las propiedades de la densidad son acompañados por cambios en las propiedades estructurales tales como la conductividad térmica e hidráulica y en las características de la transferencia de gases en el suelo, estos a su vez afectan los balances químicos y biológicos, en síntesis el ambiente del suelo es alterado de tal manera afecta a todos los procesos del suelo tales como: actividades agrícolas, reforestación, industrialización etc. Son afectados en mayor a menor extensión dependiendo del grado de compactación.

Realizando un análisis personal y aseverando con lo antes mencionado por el autor puedo afirmar que en suelos remediados es conveniente utilizarlos en agricultura con especies que tengan características de mantener sus raíces en la parte superficial. Debido a que estos suelos quedan saturados y compactos a partir de unos 80 cm a 1 m aproximadamente de profundidad por el proceso de taponamientos de los boquetes.

2.2. Potencial de hidrogeno.

Mediante el proceso de remediación realizado se evidencio un pequeño cambio en el indicador del pH, es decir de neutro descendió a ligeramente acido, este cambio se dio posiblemente debido a la utilización de los diferentes elementos utilizados para el proceso de composteo tales como son los que aportan con ácidos orgánicos, y posiblemente debido al manejo de las biopilas in situ, ya que dentro de la composta sufre cambios en la temperatura y es ahí cuando se debe tener precaución en el manejo del ph

específicamente cuando se dé por terminado el proceso de composteo, ya que este insumo se supone que está listo al momento de ser utilizado en cualquier sistema agrícola.

Mediante un estudio realizado por la empresa Infoagro (2004) afirma que el comportamiento de la temperatura y la acidez en la composta, está a temperatura ambiente y los microorganismos se multiplican rápidamente, como consecuencia de la descomposición, la temperatura se eleva y se producen ácidos orgánicos, luego cuando la temperatura baja a menos de 60°C, reaparecen los microorganismos termófilos que reinvasen la compostera y descomponen la celulosa, al bajar la temperatura a menos de 40°C los mismos organismos de la primera etapa reinician su actividad y la acidez (pH) del medio desciende ligeramente acida. Los elementos que aportan con ácidos orgánicos son en general, los restos de los cítricos (naranjas, limones, guayaba, zapote, mandarinas, etc.) Por lo que es necesario dejar que se cumpla por completo el ciclo del compostaje y lograr la neutralización de pH.

En base al estudio realizado por esta empresa Infoagro, y de acuerdo a la investigación realizada puedo afirmar que el pH descendió de neutro a ligeramente ácido en el área remediada debido a la aplicación de materia orgánica que aportan con ácidos orgánicos y a la falta de culminación del proceso de composteo es decir necesito dejarle unos 15 días más con la finalidad de que los microorganismos cumplan, y finalicen con su función específica neutralizando por completo el pH del suelo.

2.3. Materia orgánica.

Con la aplicación de materia prima, compost al suelo y la incorporación de microorganismos eficientes se logró recuperar el porcentaje de materia orgánica que ha perdido estos suelos debido al proceso de intervención minera, de igual forma se logró reducir la concentración de mercurio hacia los niveles máximos permisibles que se dictan el TULSMA,

libro VI, tabla 3. Mediante un estudio realizado por Ortega (2014) afirma que con la incorporación de compost al suelo podemos garantizar el desarrollo de microorganismos que no sólo se encargarán de descomponer y degradar los nutrientes que la planta necesita incorporar a su sistema, se han identificado bacterias y hongos capaces de promover el crecimiento de cultivos mediante la secreción de hormonas, y otros que funcionan como controladores biológicos, y un último grupo de microorganismos son aquellos capaces de cumplir con otra función específica como las actinobacterias, aunque físicamente parecen hongos, estas bacterias pueden funcionar bajo altas temperaturas durante la descomposición de la materia orgánica y resistir el proceso de pasteurización del compost mientras los patógenos se mueren.

Mediante la investigación realizada y aseverando con lo antes mencionado por este autor puedo confirmar que los microorganismos eficientes cumplen con varias funciones, una de ellas es transformar la materia prima en materia orgánica disponible y asimilable para las plantas y la descontaminación del suelo por metales pesados. Tomando como referencia lo que menciona Zhong (s. f) que si existe presencia de metales pesados en el suelo el porcentaje de MO es bajo, puedo concluir que los microorganismos son capaces de reducir la concentración de mercurio en suelos e incrementar el porcentaje de materia orgánica a través del proceso de transformación.

2.4. Nitrógeno.

El incremento de nitrógeno mediante el proceso de remediación de suelos en biopilas se dio posiblemente debido a la existencia de microorganismos que tienen la capacidad de capturar nitrógeno y hacerlo disponible y asimilable para las plantas. De acuerdo a Céspedes (2014) afirma que más del 90% de los microorganismos presentes en el suelo son benéficos y ayudan a cumplir los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes como la mineralización, nitrificación, fijación simbiótica del nitrógeno, y

descomposición, entre otros procesos. Para que esta biomasa microbiana pueda expresar todo su potencial, es necesario garantizar un constante suministro de material orgánico al suelo que funcionará como alimento para estos microscópicos seres vivos.

De la investigación realizada y aseverando con lo antes mencionado por este autor puedo confirmar que el incremento de nitrógeno en esta área se dio por la función específica de los microorganismos y bacterias, mas no por las plantas captadoras de nitrógeno como son las leguminosas, ya que se carece de estas plantas por la presencia de minería, o utilización de otros insumos nitrogenados.

2.5. Fosforo.

La presencia del fosforo en el suelo está directamente relacionado con el porcentaje de materia orgánica en el suelo, ya que si existe un buen porcentaje de MO es un indicador de que existe una buena población de vida microbiana, los mismo que son capaces de convertir de la forma orgánica de fosforo en el suelo, a la forma inorgánica y hacerlo disponibles y asimilables para las plantas. De acuerdo a una revista pública a cerca del ciclo del fosforo, el autor Cantero (1997) afirma lo siguiente: el fosforo se encuentra en el suelo formando parte de diferentes minerales tales como fosforita, apatito, etc. También en compuestos orgánicos, asociado a la materia orgánica y como parte de los microorganismos, además existen formas iónicas libres en la solución del suelo y fijadas al complejo arcillo-húmico. Desde el punto de vista agronómico el fosforo puede estar presente en el suelo en cuatro formas: en la solución del suelo, es decir directamente asimilable; como componente de la materia orgánica; precipitado o adsorbido en los geles de hierro y aluminio; en suelos ácidos, y precipitado como fosfato cálcico en suelos básicos; muy lentamente asimilable; y formando parte de la roca madre no asimilable.

Mediante la investigación realiza y tomando como punto de referencia lo publicado en la página antes descrita, puedo afirmar que el incremento de este nutriente como es el fósforo se dio por el porcentaje de materia orgánica y presencia de acción microbiana, mas no por las otras formas que menciona, ya que mantiene el pH en el rango apto para agricultura.

2.6. Potasio.

El agotamiento muy significativo de potasio se dio posiblemente debido al tipo de textura del suelo, los suelos arenosos tienen propiedades de fácil adsorción, y puede ser conducido hacia el material de mina al momento de ser removido para el trabajo de remediación. De acuerdo a Iñiguez, (2010) menciona que los suelos arenosos tienen poder de adsorción por lo cual queda en la solución suelo una cantidad considerable de iones K^+ que puede perderse en el agua de drenaje hacia las capas profundas del suelo. Por ello en suelos muy arenosos conviene hacer aportaciones de fertilizantes potásicos en forma fraccionada.

Según Ibáñez (2009) las entradas de K al sistema suelo-cultivo provienen básicamente de la fertilización continua en suelos arenosos debido a su textura. En cuanto a las pérdidas, la principal vía corresponde a la lixiviación de K^+ , este proceso adquiere más relevancia en suelos de texturas gruesas, “franco arenosos” y está determinado por una serie de factores: Ocurrencia de eventos de lluvia o uso de riego, profundidad del sistema radicular de los cultivos, presencia de flujos preferenciales de agua, y dosis de fertilizante. Según Podwojewski y Poulénard (2000) menciona que en suelos de páramo, o suelos con precipitaciones pronunciadas de lluvia, el potasio, junto con el magnesio, son elementos que se lixivian rápidamente en comparación con el calcio; es así que en sitios lluviosos, el contenido de potasio es muy bajo.

De acuerdo al resultado del análisis de suelos realizado y tomando como referencia lo antes mencionado por los autor puedo afirmar que el potasio en suelos franco arenosos puede ser adsorbido, lixiviado, o lavado fácilmente, por lo que es conveniente realizar una fertilización constante en suelos con textura franco arenosos.

2.7. Calcio.

Los macronutrientes en el suelo están estrechamente relacionados entre sí, entre ellos el calcio y el potasio, el incremento de calcio en el suelo se dio posiblemente por la aplicación de cal agrícola, ya que al momento de ser aplicado necesita más humedad, al humedecer el suelo se está desequilibrando el contenido de potasio a través de la adsorción. De acuerdo a Iñiguez (2010) menciona; En el complejo coloidal los iones de calcio se remplazan con más facilidad que los iones de hidrogeno, con los cuales al añadir un fertilizante potásico, los iones de K^+ reemplazan a parte de los iones de Ca^{++} , cuando mayor sea la cantidad de calcio presente, mayor será la adsorción del potasio.

En un manual de uso, manejo y aplicación de cal agrícola en la página <http://www.soprocal.com>, menciona lo siguiente: La cal agrícola aporta el calcio necesario para el crecimiento el desarrollo de los cultivos, mediante el encalado correctivo es posible recuperar la productividad del suelo acidificado y alcanzar los rendimientos potenciales. El encalado, mejora las condiciones físicas y biológicas del suelo. Este producto presenta una serie de ventajas al ser de carácter mineral, libre de impurezas orgánicas, con una ley homogénea y con presencia de hidróxido de calcio y magnesio que provocan una alta velocidad de reacción del carbonato de calcio en el suelo.

Tomando como punto de referencia lo antes mencionado afirmo que el incremento de calcio en esta área se dio por la utilización de cal agrícola mediante el proceso de remediación en biopilas.

2.8. Magnesio.

Mediante análisis de laboratorio realizado el resultado obtenido del área remediada indica que se logró incrementar el contenido de magnesio del rango bajo a medio, este resultado se obtuvo posiblemente debido a la acción microbiológica en el suelo, los microorganismos necesitan este macro elemento para poder sobrevivir y cumplir con las diferentes funciones, de manera que es importante aplicar suficiente materia orgánica que aporte a los microorganismos con este nutriente indispensable y lograr una descontaminación rápida en suelos contaminados por mercurio. Otro proceso que posiblemente impidió obtener una máxima disponibilidad de este macronutriente fue a través de la filtración ya que en suelos con textura franco arenosos tienen características de fácil adsorción. Mediante un estudio realizado por Iñiguez (2010) afirma lo siguiente: tanto las plantas como los microorganismos requieren de magnesio para vivir los vegetales lo requieren en grandes cantidades y los microorganismos lo toman como fuente de energía. Según los autores Gordillo y Chávez (2010) mediante un estudio realizado afirman que la aportación de magnesio en una composta proviene principalmente de la melaza o miel, el mismo que es indispensable para la reproducción y sobrevivencia de los microorganismos de manera que es conveniente utilizar una cantidad suficiente de melaza o miel con la finalidad de suministrar la fuente de energía a los microorganismos y contribuir con la aportación de magnesio al suelo.

Tomando como base lo antes mencionado por los autores y de acuerdo a los resultados obtenidos de laboratorio de este indicador afirmo que los microorganismos necesitan de este este macro elemento para poder sobrevivir por lo que es necesario aplicar materia orgánica lo suficientemente necesario con la finalidad de obtener una buena disponibilidad tanto para el suelo, como para la supervivencia y reproducción de los microorganismos y así lograr que cumplan de manera eficiente con el proceso de descontaminación del suelo.

2.9. Conductividad eléctrica.

La conductividad eléctrica está estrechamente relacionada con la textura del suelo, la pequeña concentración de sales que se ha obtenido mediante el proceso de remediación es decir de suelo no salino a ligeramente salino, es posiblemente debido a la aplicación de materia prima, humus, y miel de caña al suelo con la finalidad de mejorar el grado de fertilidad. Las biopilas fueron tapadas con plástico con la finalidad de acelerar el proceso de descomposición, y es ahí específicamente cuando se dio el pequeño incremento de concentración de sales en el área de remediación. De acuerdo al TULSMA el contenido de sales en el área remediada no sobrepasa los límites máximos permisibles ya que el resultado obtenido se lo ubica dentro del límite establecido en el mismo. En un estudio realizado en México por Morales (2003) menciona que los desechos provenientes de la caña tales como bagacillo, cachaza, miel, tienen un alto contenido de sales, baja retención de agua. La cachaza está constituida por una rica mezcla de fuentes de nitrógeno y carbono y a la vez de minerales fosfatados.

Tomando como referencia lo antes mencionado por el autor y de acuerdo a investigación realizada puedo afirmar que la utilización exagerada de productos obtenidos de caña para composteo alterará significativamente la concentración de sales, de manera que si se utiliza exageradamente estos elementos afectará de manera inicial a la germinación y prendimiento de las plantas según la especie se dará e grado de afectación.

2.10. Mercurio.

El mercurio en el área remediada es de 0,4 mg/kg; en comparación con el área intervenida que es de 8,4 mg/kg, existe una disminución notable, pues el área remediada no sobrepasa los límites máximos permisibles que se dictan en el TULSMA libro VI (anexo 2) este

resultado se debe posiblemente al funcionamiento exitoso del tratamiento aplicado, sin embargo hay que considerar otros factores; según García y Donsoro 2005, mencionan que los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías: quedar retenido en el suelo; puede ser adsorbidos por las plantas e incorporarse a la cadena trófica; pasar a la atmosfera por volatilización; o se moviliza a las aguas superficiales o subterráneas. Otro estudio realizado por Gochfeld (2003) menciona que el mercurio es degradado por microorganismos (biometilación) o se oxida, el dimetil mercurio, que solamente se forma químicamente (metilación química) escapa a la atmósfera y se descompone formando mercurio elemental.

Según Benavides y Col (2005) las bacterias son las más empleadas en el proceso de biorremediación, aunque también se han empleado otros microorganismos como hongos, algas, cianobacterias y actinomicetes para la degradación de metales pesados en el suelo. Así mismo, existen animales que actúan como agentes descontaminantes, ya que pueden desarrollarse en medios con fuerte toxicidad y poseen en su interior microorganismo capaces de retener metales pesados; tal es el caso de la lombriz de tierra (*Lumbricus terrestris*) la cual absorbe los contaminantes a través de los tejidos y los acumula en las vías digestivas.

Mediante la investigación realizada y tomando como base lo antes mencionado puedo confirmar que los microorganismos son capaces de reducir, transformar, bioacumular, el grado de concentración de mercurio inorgánico en el suelo, razón por la cual se logró reducir el grado de concentración de mercurio en el área remediada mediante el proceso de composteo y dejarlo dentro de los límites permisibles establecidos en el TULSMA.

3. Para los resultados del tercer objetivo específico.

3.1. Siembra de brachiaria decumbens.

De acuerdo al seguimiento y monitoreo que se ha venido ejecutando durante el proceso de siembra, germinación, y altura de las plantas, se evidenció la diferencia entre las dos áreas, logrando obtener un rendimiento excelente en el área remediada, mientras que en el área que sirvió como testigo fue demasiado crítico. El rendimiento excelente de las plantas que se obtuvo en el área remediada se dio debido al equilibrio nutricional de los macronutrientes, y a la descontaminación del suelo que se logró mediante el proceso de remediación, producto de la utilización del mercurio en la minería. Según Seoáñez (1998) menciona que la presencia de metales como contaminantes del suelo pueden producir a las plantas diferentes alteraciones, la presencia de mercurio en altas concentraciones provoca alteración de la fotosíntesis, inhibición del crecimiento, y alteración en la captación de potasio.

3.2. Cobertura y floración.

De acuerdo al seguimiento y monitoreo que se dio a la investigación desde la siembra de brachiaria hasta la floración, y cobertura total del área, afirmo que en estos suelos intervenidos por minería, remediados y equilibrados nutricionalmente se logra en el lapso de dos meses y medio al 100%, obteniendo un rendimiento excelente, en un corto tiempo. En un estudio realizado por el INIAP de pastos tropicales para la amazonia ecuatoriana (1999) menciona que la brachiaria decumbens se comporta bien en zonas localizadas desde el nivel del mar hasta los 1000 msnm. En las provincias de Napo y Sucumbíos que están a 200 y 300 msnm, los valores demuestran que la altura que puede alcanzar la especie es de 93 cm, y dependiendo de la distancia de siembra su cobertura es mayor o menor, y la floración del pasto surge a las 12 semanas. Tomando como referencia el estudio realizado por el INIAP puedo concluir que la

especie de hierba brachiaria decumbens en nuestra provincia por estar a más altitud presenta menor tamaño, la floración a menor tiempo y mayor rendimiento en menor tiempo, esto también se da debido al equilibrio de los macronutrientes disponibles y asimilables para las plantas.



Fotografía 14. Establecimiento del pasto en el área remediada.

Mientras que de acuerdo al seguimiento y monitoreo realizado en el área que sirvió como testigo se obtuvo una cobertura de un 10% y no existió floración del pasto, este resultado es debido a la concentración de mercurio en el suelo y al bajo contenido de macronutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas.



Fotografía 15. Características físicas del pasto en el área testigo.

3.3. Plantas con características en mal aspecto físico.

La mal formación y mal aspecto físico que presentaron las plantas en el área remediada fue de un 5%, este resultado se debe posiblemente a las siguientes causas: encharcamiento de agua, presencia de microbios nocivos en el suelo, bajo contenido de potasio, textura franco arenoso en la parte superficial, o compactación en el subsuelo, pues mediante experiencia laboral en minería he podido visualizar que en ciertos lugares existe compactación debido a la ubicación de la excavadora encontrándose estática con la función específica de proveer de material de mina hacia la clasificadora.

Según Zaballos (2007). Afirma que los terrenos en los que se producen encharcamientos son los que tienen mal drenaje, ya sea por estar compactados o tener suelos con horizontes poco permeables, y los que reciben altas precipitaciones o riegos excesivos, la mayoría de las plantas sufren, a lo largo de su vida, deficiencias de oxígeno en las raíces, ya sea de forma periódica u ocasional. Si el encharcamiento se mantiene, las raíces y los microorganismos del suelo agotan el oxígeno. Entonces aparecen las

condiciones de hipoxia (déficit de oxígeno) en la zona radicular, y las plantas van siendo afectadas, dependiendo de su sensibilidad.

Mediante el estudio realizado y aseverando con lo antes mencionado puedo afirmar que la mal formación de las plantas en este lugar se dio debido al exceso de agua que existió antes del proceso de remediación, Lugar donde se facilitó la supervivencia de microbios nocivos tanto para el suelo como para las plantas, y también debido al bajo contenido de potasio en esta área.

Mientras que de acuerdo a los resultados de los análisis de laboratorio en el área intervenida por minería la mal formación de las plantas se da por la toxicidad del suelo por mercurio, comprobado científicamente que éste metal inhibe el crecimiento y formación de las plantas, y el segundo factor es debido al bajo contenido de macronutrientes disponibles en el suelo.



Fotografía 16. Deficiencia del pasto en una parte del área remediada.

H. CONCLUSIONES.

- Mediante análisis químico de laboratorio realizado los indicadores de fertilidad del suelo en el área intervenida muestran que existe un desequilibrio de macronutrientes en el suelo, los siguientes parámetros: MO, N, K₂O₅, Ca, Mg, en un nivel bajo; P₂O₅, en un nivel medio, baja concentración de sales, textura, y pH en un nivel óptimo.
- Mediante análisis químico de laboratorio realizado los indicadores de fertilidad del suelo en el área no intervenida muestran que existe un equilibrio de los macronutrientes en el suelo, los siguientes parámetros: MO, N, P₂O₅, K₂O₅, Ca, en un nivel alto; Mg en un nivel bajo, textura y pH en un nivel óptimo, y baja concentración de sales.
- La concentración de mercurio en el área intervenida se encuentra sobre los niveles máximos permisibles establecidos en el TULSMA, mientras que en el área no intervenida se encuentra bajo los niveles máximos permisibles para criterios de remediación, y sobre los niveles máximos permisibles para criterios de calidad.
- La utilización de mercurio para la extracción de oro en estas áreas afecta de manera muy significativa, contaminando y esterilizando al suelo producto de la utilización de este metal.
- Los resultados de laboratorio luego del proceso de remediación muestran que existe un mejoramiento en los requerimientos de los macronutrientes esenciales para un suelo agrícola, clasificándolos de la siguiente manera: MO, N, P₂O₅, en un nivel alto, Ca, Mg, en un nivel medio, K₂O₅, en un nivel bajo, conductividad eléctrica, pH, y textura dentro del rango óptimo para agricultura.
- Con la aplicación de la técnica de remediación de suelos en biopilas se logró mejorar el grado de fertilidad del suelo, de manera que se

confirmar que ésta técnica funciona de manera eficiente en suelos intervenidos por minería ilegal en aluviales.

- Con la aplicación de la técnica de remediación de suelos en biopilas se logró reducir el grado de concentración de mercurio hacia el rango del nivel máximo permisible establecido en el TULSMA.
- La eficiencia del trabajo de remediación en biopilas se evidencio a través de la implementación de *brachiaria decumbens* el mismo que germinó a los ocho días a partir de la siembra, en un porcentaje de 95% en el área remediada, mientras que en el área que sirvió como testigo, germinó a los quince días en un porcentaje de un 45%.
- El crecimiento de las plantas cobertura y floración en el área remediada se desarrolló en forma equilibrada logrando obtener estos resultados al 100% en el lapso de dos meses y medio, mientras que en el área testigo la altura máxima de las plantas fue de 12 cm, cobertura de un 10% y no existió floración de las plantas.
- La incidencia a enfermedades de las plantas en el área remediada fue de un 5%, mientras que en el área testigo todas las plantas presentaron indicios de mal formación al 100%.

I. RECOMENDACIONES.

- Utilizar buenos protocolos para muestreo de suelos intervenidos por minería, ya que estos suelos presentan texturas muy diferentes debido al proceso de remoción, y mezcla del suelo que se realiza mediante explotación minera.
- Realizar los análisis en laboratorios que presten buenos servicios de atención al cliente y que sean acreditados por la OAE Organismo de Acreditación Ecuatoriano, con la finalidad de tener una mayor confiabilidad en los resultados.
- Se recomienda realizar una investigación profunda de los aportes que posee cada elemento de materia prima en la composta, con la finalidad de aplicar en proporciones exactas de acuerdo al diagnóstico realizado mediante la obtención de los resultados de los análisis, para suelos intervenidos por minería.
- Se recomienda que para el proceso de remediación de suelos intervenidos por minería sea de preferencia en época de verano ya que debido a las condiciones climáticas que presenta la provincia de Zamora Chinchipe el exceso de humedad provoca alteraciones en el proceso de remediación.
- Se recomienda realizar un análisis bromatológico del pasto con la finalidad de verificar si esta especie es fitorremediadora ya que puede estar entrando a la cadena alimenticia del ser humano a través de la misma.

J. BIBLIOGRAFÍA.

- Abrego 2012. Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico en calidad de suelos. Universidad Nacional Noroeste Buenos Aires Argentina.
- Adriano, 2001. Biodegradabilidad de Hg en el suelo. Universidad de Guayaquil Ecuador.
- Álvarez. 2004. Efecto de pretratamientos fisicoquímicos en la biodegradación de hidrocarburos del petróleo en un suelo intemperado, por composteo. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa México. 45 Pg.
- Benavides y Col, 2005. Tecnologías para la restauración de suelos contaminados por metales pesados. Universidad Veracruzana. México.
- Cantero 1997. El fosforo en el suelo formando parte de diferentes minerales tales como fosforita, apatito, etc. (en línea) consultado 2 ago. 2014. Disponible en <http://www.tecnicoagricola.es>.
- Calvo Anta 1996. Determinación de metales pesados en suelos de medina del campo. Universidad de Valladolid España.
- Céspedes, 2014. Más del 90% de los microorganismos presentes en el suelo son benéficos y ayudan a cumplir los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes. (en línea). Consultado 14 ago. 2014. Disponible en <http://www.redagricola.com/reportajes/nutricion/materia-organica-y-compost-de-desecho-organico-herramienta-agronomica-de-susten>.
- Constitución de la república del Ecuador 2008.
- Cuevas, A. 2010. Transferencia de metales pesados de suelo a plantas en áreas mineras ejemplos de los andes peruanos y de la cordillera prelitoral Catalana ciudad de Bogotá Perú. 292 Pág.
- Eweis, et al, 1998. Efecto de pretratamientos fisicoquímicos en la biodegradación de hidrocarburos del petróleo en un suelo intemperizado, por composteo. Iztapalapa, México.
- Gadd, 2004. Evaluación de tecnologías de remediación para suelos contaminados con metales, Morelos México.

- García y Donsoro 2005. Los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías: Quedar retenido en el suelo; puede ser adsorbidos por las plantas e incorporarse a la cadena trófica; pasar a la atmosfera por volatilización; o se moviliza a las aguas superficiales o subterráneas. Colombia.
- Gochfeld, 2003. Rehabilitación de suelos contaminados con mercurio (en línea) consultado 28 mar. 2014. Disponible en <http://www.revistaecosistemas.net>.
- Gonzales y Rojas 2009. Compost una estrategia de biorremediación. Bogotá Colombia.
- Gordillo y Chávez, 2010. Diagnóstico de la fertilidad química de los suelos de los municipios de Granada y Sylvania para la producción de uchuva. Cundinamarca.
- Hernández, A. 2011. Impacto de la contaminación por Cu, Zn, y Pb de suelos de minas abandonadas en una especie cultivada: terceras jornadas de jóvenes investigadores de la Universidad de Alcalá España.
- Ibáñez 2009. Cambios físicos, químicos, biológicos del suelo y nutricionales en las plantas (en línea). Consultado 15 ago. 2014. Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos81/cambios-fisicos-quimicos-biologicos-suelo/cambios-fisicos-quimicos-biologicos-suelo2.shtml#ixzz3H4KXGLPk>.
- Infoagro 2004. El ph e importancia en Fertirrigación. En línea. Consultado 17 ago. 2014. Disponible en http://www.infoagro.com/abonos/pH_suelo.htm.
- Iñiguez, M. 2010 Fertilidad fertilizantes y fertilización del suelo. Primera edición 2005. Loja- Ecuador. Pg. 320.
- Juergens y Gschwind 1989. Balance de macronutrientes y materia orgánica en el suelo de agrosistemas hortícolas con manejo integrado ecológico. Universidad de Valencia España.
- Lee Morgan 1981. El ciclo del nitrógeno en suelos agrícolas. Chile.

- Ley orgánica reformativa a la ley de minería, a la ley reformativa para la equidad tributaria en el Ecuador, y a la ley orgánica de régimen tributario interno. junio 2013.
- Marrugo, J. Jaramillo, B. Pérez, L. 2010. Fitorremediación, y remoción, de metales pesados. (en línea) consultado 28 mar. 2014. Disponible en <http://www.revistas.unal.edu.com>.
- Menéndez, 2007. Evaluación de la bioestimulación frente a la atenuación natural, y la bioaumentación en un suelo contaminado. Colombia.
- Menéndez, et al, 2007, Evaluación de la Atenuación natural estimulada en un suelo contaminado con una mezcla de gasolina, diesel a escala de laboratorio. Universidad Nacional de Colombia.
- Miliarium Aureum 2004. Indicadores de la calidad del suelo. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Millar et al, 1980. Contaminación de la minería, el caso de la cuenca Macha Pocoata. Universidad Siglo XX. Ciudad Llalagua, Bolivia.
- Morales, 2003. Influencia de electrolitos, especies iónicas y sodio cambiante en la dispersión del suelo. México.
- Olivares 2008. El nitrógeno puede hallarse en el suelo derivado del contenido mineral del mismo, de aquel que se pueda incorporar de la atmósfera capturada por las plantas leguminosas. Estación Experimental del Zaidín Granada. España.
- Oprea et al. 2009. Perspectivas del medio ambiente en la Amazonia. (PNUMA), Publicado por el programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, (OCTA) la organización del tratado de cooperación Amazónica y (CIUP). el centro de investigación de la Universidad del Pacífico, Bogotá Colombia.
- Ortega, 2014. Con la incorporación de compost al suelo podemos garantizar el desarrollo de microorganismos. (en línea) Consultado 25 ago. 2014. Disponible en <http://www.redagricola.com/reportajes/nutricion/materia-organica-y-compost-de-desecho-organico-herramienta-agronomica-de-susten>

- Ortiz, et al, 2008. Alternativas de remediación de sitios contaminados por metales pesados. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Podwojewski y Poulenard, 2000. Efecto de actividades agropecuarias en las características del suelo en el páramo el granizo. Cundinamarca, Colombia.
- Puga et al, 2006. Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Raghavan et al, 1990. Degradación del suelo causas, procesos evaluación e investigación. Mérida Venezuela.
- Rennie y Kemp 1983. Inoculación del frijol común con tres cepas seleccionadas de *Rhizobium leguminosarum* La incorporación de nitrógeno se realiza bien por fijación simbiótica de bacterias del género *Rhizobium* localizadas en las raíces de las leguminosas. Puriscal Costa Rica.
- Riser, et al, 1992. Evaluación de la atenuación natural estimulada en un suelo contaminado con una mezcla de gasolina, diesel a escala de laboratorio. Universidad Nacional de Colombia.
- Rodríguez, 2008. Evaluación de dos sustratos en la técnica de Landfarming para el tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos. Escuela politécnica Litoral de Chimborazo. Riobamba Ecuador. 158 Pg.
- Sardi, 1992 y Buhman, 1993. Disponibilidad de potasio y aspectos relacionados a la dinámica de liberación y renovación de la solución del suelo. Universidad de Buenos Aires Argentina.
- Según Navarro y Navarro 2002. Acidificación y Descalcificación. se produce por el agua de lluvia que contiene una pequeña cantidad de gas carbónico y es capaz de disolver la caliza existente en el suelo. Bolivia.
- Según Seoáñez 1998. Efectos de la contaminación del suelo en la agricultura. Colombia.
- Según Zaballos, 2007. Exploración del suelo por las raíces y encharcamientos. Universidad de valencia España.

- Semple, et al, 2001. Tecnologías de remediación para suelos contaminados por EPT. (Elementos potencialmente tóxicos). México.
- Smart fertilización inteligente 2008. Programa de información para fertilización de cultivos. (en línea). Consultado 19 de ago. 2014. Disponible en <http://www.smart-fertilizer.com/haifa-es>.
- SOPROCAL (Produccion Sostenibilidad de cales agrícolas) Chile. Consultado 21 ago. 2014. Disponible en <http://www.soprocal.cl/soprocal/index>.
- Toledo y Torres 2009. Aplicación de Procesos Biológicos como medida Remediación para recuperar suelos contaminados. Guayaquil Ecuador.
- Toledo y Torres 2009. Monitoreo de suelos contaminados mediante pruebas ecotoxicológicas. España.
- Toledo y Torres 2009. Uso de cachaza y bagazo de caña de azúcar en la remoción de hidrocarburos en suelo contaminado. Universidad Veracruzana, México.
- Toledo, Torres, 2009. Tecnologías de remediación para suelos contaminados por EPT.
- TULSMA. (texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente). Ecuador.
- Volke y Velasco 2009. Ventajas y desventajas del proceso biológico de remediación. Tecnologías de remediación para suelos contaminados por EPT. Perú.
- Zhong s/f. efectos de metales pesados en el suelo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México.

K. ANEXOS.



LABORATORIO DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE SUELOS, AGUAS Y BROMATOLOGIA
AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

LASAB

Provincia:	Zamora Chinchipe	FECHA DE INGRESO:	19 de marzo de 2014
Cantón:	Zamora	FECHA DE EGRESO:	30 de abril de 2014
Parroquia:	Guadalupe	RESPONSABLE:	Vladimir Armijos
Sector:	San Antonio		

1. RESULTADOS DE ANÁLISIS

Cód. Lab.	Cód. Campo	Análisis Mecánico % TFSA			Textura	pH	M.O. %	N ppm	P ₂ O ₅ ppm	K ₂ O ppm	Ca disp. meq/100 ml	Mg disp. meq/100 ml	C.E. M/mhos/cm
		Ao	Lo	Ac									
1373	100	48.8	40	11.2	Fo	7.12	0.8	53.34	27.1	71.9	2.32	1.02	0.60
1374	200	60.8	30	9.2	FoAo	7.20	2.6	33.32	28.0	102.7	2.47	1.03	0.51
1375	300	58.8	32	9.2	FoAo	7.43	0.8	33.03	25.8	60.1	2.72	1.01	0.53
1376	400	58.8	26	15.2	FoAo	7.31	1.4	38.54	22.5	95.4	4.73	1.06	0.56
1377	500	54.8	30	7.24	FoAo	7.24	1.6	37.53	29.6	75.8	2.97	1.04	0.09
1378	600	65.2	18.8	6.72	FoAo	6.72	7.4	133.45	32.3	203.6	6.40	1.08	0.70



2. INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS

Cód. Lab.	Cód. Campo	Textura	pH	M.O %	N ppm	P ₂ O ₅ ppm	K ₂ O ppm	Ca disp. meq/ 100 ml	Mg disp. meq/ 100 ml	C.E. Mmhos/cm
1373	100	Franco arenoso	Prácticamente neutro	Bajo	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Medio	No salino
1374	200	Franco arenoso	Prácticamente neutro	Bajo	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Medio	No salino
1375	300	Franco arenoso	Prácticamente neutro	Bajo	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Medio	No salino
1376	400	Franco arenoso	Prácticamente neutro	Bajo	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	No salino
1377	500	Franco arenoso	Prácticamente neutro	Bajo	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Medio	No salino
1378	600	Franco arenoso	Prácticamente neutro	Alto	Alto	Medio	Alto	Medio	Medio	No salino



[Handwritten Signature]

Ing. Omar Ojeda Ochoa Mg. Sc.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Cuadro 1. Reconocimiento de códigos de las muestras para fertilidad.

Cód. Lab.	Cód. Campo	Identificación
1373	100	Área intervenida Ha. 1
1374	200	Área intervenida Ha. 2
1375	300	Área intervenida Ha. 3
1376	400	Área intervenida Ha. 4
1377	500	Área intervenida Ha. 5
1378	600	Área no intervenida.

Cuadro 2. Tipo de textura de cada área muestreada.

Cód. Lab	Cód. De campo	Simbología	Textura
1373	100	Fo	Franco
1374	200	FoAo	Franco Arenoso
1375	300	FoAo	Franco Arenoso
1376	400	FoAo	Franco Arenoso
1377	500	FoAo	Franco Arenoso
1378	600	FoAo	Franco Arenoso

Cuadro 3. Contenido de pH de cada área muestreada.

Cód. Lab	Cód. De campo	Resultado	Ph
1373	100	7.12	Prácticamente neutro
1374	200	7.20	Prácticamente neutro

1375	300	7.43	Prácticamente neutro
1376	400	7.31	Prácticamente neutro
1377	500	7.24	Prácticamente neutro
1378	600	6.72	Prácticamente neutro

Calculo del promedio de pH del área intervenida.

➤ $7.12+7.20+7.43+7.31+7.24= 36\text{pH}$

$36/5= 7.26 \text{ pH}$

pH del área no intervenida.

❖ 6.72 pH

Cuadro 4. Contenido de M.O de cada área muestreada.

Cód. Lab	Cód. De campo	Porcentaje %	Denominación
1373	100	0.8	BAJO
1374	200	2.6	BAJO
1375	300	0.8	BAJO
1376	400	1.4	BAJO
1377	500	1.6	BAJO
1378	600	7.4	ALTO

Calculo del promedio de materia orgánica del área intervenida.

➤ $0.8+2.6+0.8+1.4+1.6= 7.2 \text{ M.O}$

$7.2/5= 1.44 \text{ M.O}$

Materia Orgánica del área no intervenida.

❖ 7.4 M.O

Cuadro 5. Contenido de Nitrógeno disponible de cada área muestreada.

Cód. Lab	Cód. De campo	Porcentaje en ppm	Denominación
1373	100	53.34	MEDIO
1374	200	33.32	MEDIO
1375	300	33.03	MEDIO
1376	400	38.54	MEDIO
1377	500	37.53	MEDIO
1378	600	133.45	ALTO

Calculo del promedio de Nitrógeno del área intervenida.

➤ $53.34+33.32+33.03+38.54+37.53=195.76\text{ppm}/5$

39.152 ppm

Nitrógeno asimilable del área no intervenida.

❖ 133.45ppm

Cuadro 6. Contenido de Fosforo disponible de cada área muestreada.

Cód. Lab	Cód. de campo	Porcentaje en ppm	Denominación
1373	100	27.1	MEDIO
1374	200	28.0	MEDIO
1375	300	25.8	MEDIO
1376	400	22.5	MEDIO
1377	500	29.6	MEDIO
1378	600	32.3	MEDIO

Calculo del promedio de fosforo del área intervenida.

➤ $27.1+28.0+25.8+22.5+29.6\text{ppm} = 133\text{ppm}/5$

26.6ppm

Fosforo disponible del área no intervenida.

❖ 32.3ppm

Cuadro 7. Contenido de potasio disponible de cada área muestreada.

Cód. Lab	Cód. de campo	Porcentaje en ppm	Denominación.
1373	100	71.9	BAJO
1374	200	102.7	MEDIO
1375	300	60.1	BAJO
1376	400	95.4	MEDIO
1377	500	75.8	BAJO
1378	600	203.6	MEDIO

Calculo del promedio de potasio del área intervenida.

➤ $71.9+102.7+60.1+95.4+75.8=405.9\text{ppm}/5$

81.18ppm

Potasio del área no intervenida.

❖ 203.6ppm

Cuadro 8. Contenido de calcio disponible de cada área muestreada.

1. Cód. Lab	Cód. de campo	Porcentaje en meq/100ml	Denominación
1373	100	2.32	BAJO
1374	200	2.47	BAJO
1375	300	2.72	BAJO

1376	400	4.73	MEDIO
1377	500	2.97	BAJO
1378	600	6.40	MEDIO

Calculo del promedio de calcio del área intervenida.

➤ $2.32+2.47+2.72+4.73+2.97+6.40= 15.21\text{meq}/100\text{ml}$

$15.21\text{meq}/100\text{ml} / 5$

$3.042 \text{ meq}/100\text{ml. Ca}$

Calcio del área no intervenida.

❖ $6.40 \text{ meq}/100\text{ml. Ca}$

Cuadro 9. Contenido de magnesio disponible de cada área muestreada.

Cód. Lab	Cód. de campo	Porcentaje en meq/100ml	Denominación Mmhos/cm
1373	100	1.02	MEDIO
1374	200	1.03	MEDIO
1375	300	1.01	MEDIO
1376	400	1.06	MEDIO
1377	500	1.04	MEDIO
1378	600	1.08	MEDIO

Calculo del promedio de Magnesio del área intervenida.

➤ $1.02+1.03+1.01+1.06+1.04= 5.16/5$

➤ $1.032 \text{ meq}/100\text{ml Mg}$

Magnesio disponible del área no intervenida.

❖ $1.08 \text{ meq}/100\text{ml Mg}$

Tabla 10. Conductividad eléctrica de cada área muestreada.

Cód. Lab	Cód. de campo	Porcentaje en Mnhos/cm	Denominación
1373	100	0.60	BAJO
1374	200	0.51	MEDIO
1375	300	0.53	BAJO
1376	400	0.56	MEDIO
1377	500	0.09	BAJO
1378	600	0.70	MEDIO

Calculo del promedio de conductividad eléctrica del área intervenida.

➤ $0.60+0.51+0.53+0.56+0.09 =2.29\text{Mnhos}/\text{cm} /5$

= $0.45 \text{ Mnhos}/\text{cm C.E}$

Promedio del área no intervenida.

❖ $=0.70 \text{ Mnhos}/\text{cm C.E}$

Resultados de laboratorio del área remediada.



LABORATORIO DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE SUELOS, AGUAS Y BROMATOLOGIA
AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

LASAB

Provincia:	Zamora Chinchipe	FECHA DE INGRESO:	19 de mayo de 2014
Cantón:	Zamora	FECHA DE EGRESO:	27 de junio de 2014
Parroquia:	Guadalupe	RESPONSABLE:	Jorge Armijos
Sector o Proyecto:	San Antonio		

1. RESULTADOS DE ANÁLISIS

Cód. Lab.	Cód. Campo.	Análisis Mecánico % TFSA			Textura	pH	MO %	N ppm	P ₂ O ₅ ppm	K ₂ O ppm	Ca me/100 g	Mg me/100 g	CE mmhos/cm
		Ao	Lo	Ac									
1403	A	66.4	26.0	7.6	FoAo	6.01	6.4	60.78	73.46	23.45	6.86	1.37	2.77

2. INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS

Cód. Lab.	Cód. Campo.	Textura	pH	MO %	N ppm	P ₂ O ₅ ppm	K ₂ O ppm	Ca me/100 g	Mg me/100 g	CE mmhos/cm
1403	A	Franco arenoso	Ligeramente ácido	Alto	Alto	Bajo	Medio	Medio	Medio	Ligeramente salino


Ing. Omar Ojeda Ochoa Mg., Sc
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



ENSAYOS
No. OAE LE 2C 05-008

REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: Armijos Valarezo Jorge Vladimir
ZAMORA CHINCHIPE / ZAMORA / CUMBARATZA SN
Telf:2607310

Atn: Ing. Jorge Vladimir Armijos

Proyecto: Análisis de Suelo

Muestra Recibida: 25-Jun-14

Tipo de Muestra: 1 Muestra de Suelo

Análisis Completado: 08-Jul-14

Número reporte Grüntec: 1406398-S001

Rotulación Muestra:	100	Método Adaptado de Referencia
Fecha de Muestreo:	20-Jun-14	
No. Reporte Grüntec:	1406398-S001	
Parámetros Generales en Suelos:		
Humedad %^(1,2)	8.2	ASTM-4959-07
Metales en peso seco:		
Mercurio mg/kg^(1,2)	8.4	EPA 6020 A

Registros y Acreditaciones:

⁽¹⁾ Acreditación No. OAE LE 2C 05-008

⁽²⁾ Acreditación CALA No. A3154

⁽³⁾ Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

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

Ing. Isabel Estrella

Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opciones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien ha realizado este informe 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.



ENSAYOS
No. OAE LE 2C 05-008

REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: Armijos Valarezo Jorge Vladimir
ZAMORA CHINCHIPE / ZAMORA / CUMBARATZA SN
Telf:2607310

Atn: Ing. Jorge Vladimir Armijos

Proyecto: Análisis de Suelo

Muestra Recibida: 25-Jun-14

Tipo de Muestra: 1 Muestra de Suelo

Análisis Completado: 08-Jul-14

Número reporte Grüntec: 1406398-S002

Rotulación Muestra:	200	Método Adaptado de Referencia
Fecha de Muestreo:	20-Jun-14	
No. Reporte Grüntec:	1406398-S002	
Parámetros Generales en Suelos:		
Humedad % ^(1,2)	31.7	ASTM-4959-07
Metales en peso seco:		
Mercurio mg/kg ^(1,2)	0.5	EPA 6020 A

Registros y Acreditaciones:

⁽¹⁾ Acreditación No. OAE LE 2C 05-008

⁽²⁾ Acreditación CALA No. A3154

⁽³⁾ Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

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



Ing. Isabel Estrella

Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opciones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien ha realizado este informe 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.



ENSAYOS
No. OAE LE 2C 05-008

REPORTE DE ANÁLISIS

Cliente: Armijos Valarezo Jorge Vladimir
ZAMORA CHINCHIPE / ZAMORA / CUMBARATZA SN
Telf:2607310

Atn: Ing. Jorge Vladimir Armijos

Proyecto: Análisis de Suelo

Muestra Recibida: 25-Jun-14

Tipo de Muestra: 1 Muestra de Suelo

Análisis Completado: 08-Jul-14

Número reporte Grüntec: 1406398-S003

Rotulación Muestra:	300	Método Adaptado de Referencia
Fecha de Muestreo:	20-Jun-14	
No. Reporte Grüntec:	1406398-S003	

Parámetros Generales en Suelos:		
Humedad % ^(1,2)	17.0	ASTM-4959-07

Metalos en peso seco:		
Mercurio mg/kg ^(1,3)	0.4	EPA 6020 A

Registros y Acreditaciones:

⁽¹⁾ Acreditación No. OAE LE 2C 05-008

⁽²⁾ Acreditación CALA No. A3154

⁽³⁾ Registro SA / MDMQ No. LEA-R-005

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

Ing. Isabel Estrella

Gerente de Operaciones

Nota 1: Estos análisis, opciones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien ha realizado este Informe 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.