



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA FORESTAL

**PROPUESTA DE UN PLAN DE RESTAURACIÓN DE SUELOS
PARA ÁREAS AFECTADAS POR LA PEQUEÑA MINERÍA EN LA
FINCA SURITIAK, CANTÓN GUALAQUIZA, PROVINCIA DE
MORONA SANTIAGO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO FORESTAL

AUTOR:

GUILLERMO PETSAIN UTITIAJ

Riobamba - Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA FORESTAL

**PROPUESTA DE UN PLAN DE RESTAURACIÓN DE SUELOS
PARA ÁREAS AFECTADAS POR LA PEQUEÑA MINERÍA EN LA
FINCA SURITIAK, CANTÓN GUALAQUIZA, PROVINCIA DE
MORONA SANTIAGO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO FORESTAL

AUTOR: GUILLERMO PETSAIN UTITIAJ

DIRECTOR: Ing. VILMA FERNANDA NOBOA SILVA MSc.

Riobamba - Ecuador

2022

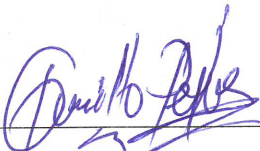
©2022, Guillermo Petsain Utitaj

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, **GUILLERMO PETSAIN UTITIAJ**, declaro que el presente trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 20 de octubre del 2022.



Guillermo Petsain Utitaj

1900587666

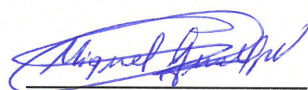
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA FORESTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El trabajo de Integración Curricular: tipo: Proyecto de Investigación, **PROPUESTA DE UN PLAN DE RESTAURACIÓN DE SUELOS PARA ÁREAS AFECTADAS POR LA PEQUEÑA MINERÍA EN LA FINCA SURITIAK, CANTÓN GUALAQUIZA, PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO** realizado por el señor **GUILLERMO PETSAIN UTITIAJ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

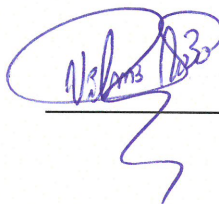
FECHA

Ing. Miguel Angel Guallpa Calva MSc.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



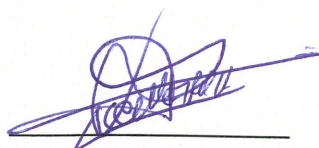
2022/10/20

Ing. Vilma Fernanda Noboa Silva MSc.
**DIRECTORA DEL TRABAJO
DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**



2022/10/20

Ing. Vicente Javier Parra León MSc.
**ASESOR DEL TRABAJO
DE INTEGRACION CURRICULAR**



2022/10/20

DEDICATORIA

A mis queridos padres Raúl Petsain y Ángela Utitaj, quienes con su cariño, paciencia y esfuerzo me han permitido cumplir un sueño más, por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo, valentía, constancia, de no temer las adversidades, de luchar por esas metas y estoy seguro que no los defraude.

A mis estimados hermanos Diego, Doris, Christian, Yulissa y Luigi, por su cariño y apoyo incondicional durante todo este proceso de formación, por estar conmigo de alguna forma y animar a no quedarme atrás. A toda la familia por sus palabras de aliento que de una u otra forma estuvieron ahí acompañándome. Finalmente, quiero dedicar este trabajo a mi novia Jhoseline Frías, por apoyarme cuando más lo necesitaba, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, de corazón mil gracias por estar conmigo.

Guillermo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme tener vida, salud y una familia ejemplar. A mis padres porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona.

Mi gratitud a la Facultad de Recursos Naturales y a la Escuela de Ingeniería Forestal, a todos los docentes quien con su apoyo y enseñanza constituyen la base de mi vida profesional, especial agradecimiento a mis tutores, Ingeniera Vilma Noboa como Directora y al Ingeniero Vicente Parra como Asesor de mi Trabajo de Integración Curricular por las sugerencias impartidas durante el proceso de mi trabajo de investigación.

Para finalizar agradezco a mi prestigiosa Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por haberme aceptado ser parte de ella y guiarme a un mejor futuro.

Guillermo

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	5
1.1. Minería.....	5
1.1.1. <i>¿Qué es la minería?</i>	5
1.1.2. <i>Clasificación</i>	5
1.1.2.1. <i>Minería artesanal</i>	6
1.1.2.2. <i>Pequeña minería</i>	6
1.1.3. <i>Ventajas y desventajas del sector minero</i>	6
1.1.3.1. <i>Ventajas de la minería</i>	7
1.1.3.2. <i>Desventajas de la minería</i>	7
1.1.4. <i>Explotación minera</i>	7
1.2. Normativa Ambiental.....	9
1.2.1. <i>Legislación respecto a la Minería y al Medio Ambiente</i>	9
1.3. Suelos.....	10
1.3.1. <i>Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos</i>	11
1.3.1.1. <i>Características físicas del suelo</i>	11
1.3.1.2. <i>Características químicas del suelo</i>	13
1.3.1.3. <i>Características biológicas del suelo</i>	18
1.3.2. <i>Importancia de suelos</i>	18
1.3.3. <i>Fertilidad</i>	19
1.4. Sistemas Agroforestales.....	19
1.4.1. <i>¿Qué es un Sistema Agroforestal?</i>	19
1.4.2. <i>Clasificación general de los sistemas agroforestales</i>	19
1.4.2.1. <i>Agroforestal</i>	19
1.4.2.2. <i>Silvopastoril</i>	20

1.4.2.3.	<i>Agrosilvopastoril</i>	21
1.4.3.	<i>Manejo de los sistemas de producción</i>	21
1.4.4.	<i>Selección de especies</i>	21
1.4.5.	<i>Control de malezas</i>	21
1.4.6.	<i>Suelos en sistemas agroforestales</i>	22

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	23
2.1.	Caracterización del lugar	23
2.1.1.	<i>Localización</i>	23
2.1.2.	<i>Ubicación geográfica</i>	23
2.1.3.	<i>Clasificación ecológica</i>	24
2.1.4.	<i>Características climáticas</i>	24
2.1.4.1.	<i>Geología</i>	24
2.1.4.2.	<i>Suelos</i>	24
2.1.4.3.	<i>Hidrología</i>	25
2.2.	Materiales y equipo	25
2.2.1.	<i>Materiales de campo</i>	25
2.2.2.	<i>Materiales de campo para el muestreo del suelo</i>	25
2.2.3.	<i>Materiales de oficina</i>	25
2.3.	Metodología	25
2.3.1.	<i>Cumplimiento del primer objetivo: Realizar el análisis de suelos para la identificación de la situación actual de tres zonas diferentes en la finca Suritiak posterior a las actividades mineras.</i>	26
2.3.2.	<i>Cumplimiento del segundo objetivo: Diseñar un plan de restauración de suelos con el sistema agroforestal en la finca Suritiak</i>	26

CAPITULO III

3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
3.1.	Análisis de suelos de la Finca Suritiak	27
3.1.1.	<i>Análisis de suelo de la Zona A</i>	27
3.1.2.	<i>Análisis de suelo de la Zona B</i>	28
3.1.3.	<i>Análisis de suelo de la Zona C</i>	30
3.1.4.	<i>Comparación del pH</i>	32
3.1.5.	<i>Comparación de Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)</i>	32

3.1.6.	<i>Comparación de los macronutrientes</i>	33
3.1.7.	<i>Comparación de los micronutrientes</i>	34
3.1.8.	<i>Comparación de los metales pesados</i>	34
3.2.	DISCUSIÓN	35
3.3.	Propuesta de plan de restauración de suelos afectados por la pequeña minería .	39
3.3.1.	<i>Plan de restauración de suelos afectados por la pequeña minería</i>	39
3.3.1.1.	<i>Introducción</i>	39
3.3.1.2.	<i>Justificación</i>	40
3.3.1.3.	<i>Objetivos</i>	40
3.3.1.4.	<i>Consideraciones iniciales</i>	41
CONCLUSIONES		51
RECOMENDACIONES		52
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3:	Resultados del análisis de suelo en la Zona A	27
Tabla 2-3:	Resultados del análisis de suelo en la Zona B	29
Tabla 3-3:	Resultados del análisis de suelo en la Zona C	30
Tabla 4-3:	Análisis de los principales impactos detectados	41
Tabla 5-3:	Indicadores de seguimiento de la revegetación.....	43
Tabla 6-3:	Tipos de reposición	44
Tabla 7-3:	Procesos de siembra y plantación	45
Tabla 8-3:	Acciones Zona A.....	46
Tabla 9-3:	Acciones Zona B.....	47
Tabla 10-3:	Acciones Zona C.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Diagrama triangular para la determinación de la textura del suelo.....	13
Figura 1-2:	Mapa de ubicación de las áreas estudiadas	23
Figura 2-3:	Indicadores para la restauración del suelo	42

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Contaminantes Zona A	28
Gráfico 2-3:	Contaminantes Zona B.....	30
Gráfico 3-3:	Contaminantes Zona C.....	31
Gráfico 4-3:	Comparación del pH en las zonas de estudio.....	32
Gráfico 5-3:	Comparación del CIC en las zonas de estudio.....	33
Gráfico 6-3:	Comparación de macronutrientes en las zonas de estudio.....	33
Gráfico 7-3:	Comparación de micronutrientes en las zonas de estudio.....	34
Gráfico 8-3:	Comparación de metales pesados en las zonas de estudio.....	34

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** RECONOCIMIENTO E IDENTIFICACIÓN DEL LUGAR DE LA PEQUEÑA MINERÍA EN LA FINCA SURITIAK
- ANEXO B:** TOMA DE DATOS Y PUNTOS CON EL EQUIPO DE TRABAJO GPS
- ANEXO C:** PREPARACION DEL TERRENO EN ZIGZAG SEGÚN LA NORMA DEL INIAP PARA LA RECOLECCION DE LAS MUESTRAS
- ANEXO D:** RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO DE LA ZONA A
- ANEXO E:** RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO DE LA ZONA B
- ANEXO F:** RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO DE LA ZONA C
- ANEXO G:** SUELO CONTAMINADO EN EL AREA DE TRABAJO
- ANEXO H:** PREPARACION DE LAS MUESTRAS
- ANEXO I:** MUESTRAS DE SUELOS ENFUNDADAS Y ETIQUETADAS
- ANEXO J:** ENVIO Y RECEPCION DE MUESTRAS AL INIAP
- ANEXO K:** RESULTADO DE LOS ANÁLISIS DE LOS SUELOS

RESUMEN

Esta investigación consistió en elaborar una propuesta de plan para la restauración de suelos en las áreas afectadas por la pequeña minería en la finca Suritiak, provincia de Morona Santiago. La investigación se basó en un método bibliográfico, de acuerdo a la recolección de información teórica, que sirvió de base para la estructuración del proceso práctico en campo; se dividió el área de estudio en tres zonas, denominándolas con las letras A, B y C, con diferente tiempo de afectación por la actividad minera, afectación de cuatro años, de 4 meses y la última sin afectación cercana respectivamente; en las tres zonas se tomaron varias submuestras de suelo para conformar la muestra principal la cual fue enviada al laboratorio del INIAP en Pichilingue a realizar los análisis de suelo; donde se evaluaron las variables físicas, químicas como el pH, Azufre, Hierro, Cobre, Zinc entre otros; los metales pesados: concentración de Cadmio, Plomo; la capacidad de intercambio catiónico y la materia orgánica. El análisis determinó que el suelo del área de estudio era de tipo ácido por su bajo pH, bajo contenido de arcilla y materia orgánica con concentraciones altas en Hierro y Cobre que pueden dañar el ecosistema; los suelos en donde se realiza el trabajo de minería se encuentran claramente degradados y de acuerdo con el plan desarrollado para la biorremediación requiere enmiendas de pH con fertilizante, piedra caliza y materia orgánica. Se concluyó que la implementación del plan mejoraría las condiciones de suelo degradado de la Finca Suritiak y se recomienda establecer programas de recuperación, rehabilitación y estructuración, no solo para ecosistemas afectados por la minería si no para cualquier área degradada.

Palabras claves: <BIORREMEDIACIÓN>, <FINCA SURITIAK>, <MORONA SANTIAGO (PROVINCIA)>, <PEQUEÑA MINERÍA >, <RESTAURACIÓN DE SUELOS>, <SISTEMA AGROFORESTAL>.


D.B.R.A.I.
Ing. Cristian Castillo



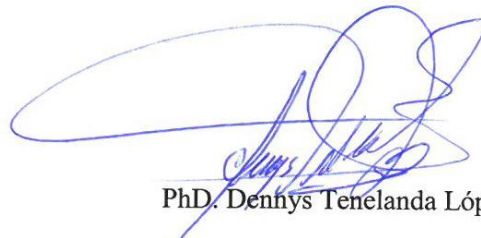
2068-DBRA-UTP-2022

ABSTRACT

This research aimed to prepare a proposal for a plan for soil restoration in the areas affected by small-scale mining on the Suritiak Farm, Morona Santiago province. The research was based on a bibliographic method, according to the collection of theoretical information, which served as the basis for the structuring of the experimental process in the field. The study area was divided into three zones, naming them with the letters A, B, and C, with different times of affectation by mining activity, four-year affectation, four-month affectation, and the last one without close affectation, respectively. In the three zones, several soil subsamples were taken to make up the primary sample, which was sent to the INIAP laboratory in Pichilingue to carry out the soil analysis; where the physical, and chemical variables such as pH, Sulfur, Iron, Copper, and Zinc among others were evaluated; heavy metals: concentration of Cadmium, Lead; cation exchange capacity and organic matter. The analysis determined that the soil in the study area was acid-type due to its low pH, low clay content, and organic matter with high concentrations of Iron and Copper that can damage the ecosystem. The soils where the mining work is carried out are clearly degraded, and according to the plan developed for bioremediation, it requires pH amendments with fertilizer, limestone, and organic matter. It was concluded that implementing the plan would improve the degraded soil conditions of Suritiak Farm. It is recommended to establish recovery, rehabilitation, and structuring programs, not only for ecosystems affected by mining but for any degraded area.

Keywords: <BIOREMEDIATION>, <SURITIAK FARM>, <MORONA SANTIAGO (PROVINCE)>, <SMALL-SCALE MINING>, <SOIL RESTORATION>, <AGROFORESTRY SYSTEM>.

Riobamba, November 1st, 2022



PhD. Dennys Tenelanda López

ID number: 0603342189

INTRODUCCIÓN

Las actividades de minería, y sus asociados, generan una alta cantidad de residuos compuestos por piedras y lodos con abundantes metales pesados que terminan depositándose en la superficie del entorno minero y contaminando los ecosistemas circundantes (Becerril et al., 2007, p. 2). En todo el mundo se pueden encontrar muchos ejemplos documentados de las actividades mineras de pequeña escala, como en años anteriores al 2000, donde la producción de oro, diamantes y piedras preciosas a pequeña escala comprendía entre 80 y 100 % en países como Burkina Faso, Cuba, Guyana, Mozambique, Myanmar y Níger; y más del 50 % en Bolivia, Filipinas, México y Tanzania (Organización Internacional del Trabajo, 1999, párr. 9).

Uno de los asociados de la minería, como lo es la industria de la fundición de metales para separar los minerales ha sido otro factor importante en la introducción de muchos contaminantes en el suelo. La implementación de empresas dedicadas a la minería y fundición son los causantes de liberar enormes cantidades de metales pesados y otros componentes tóxicos (cómo ácidos, cianuro, nitrato de amonio, derivados de petróleo, etc.) en el medio ambiente; dichos contaminantes llegan a persistir durante largos periodos, especialmente mucho después del fin de las actividades de las empresas (Ogundele et al., 2017, p. 324).

Papuico (2020, p. 27), asegura que actualmente la contaminación del suelo es un tema de carácter alarmante, en lugares de Europa y Eurasia se ha reconocido como la tercera amenaza más importante para las funciones del suelo, como la cuarta en zonas del norte de África, la quinta en países de Asia, la séptima en el área del noroeste del Pacífico, octava en los países que conforman América del Norte y la novena en la zona de África subsahariana y los países de América Latina.

La presencia de determinados contaminantes puede originar desequilibrios en los suelos, como pueden ser en los ciclos de nutrientes y su acidificación, que son dos aspectos muy importantes en muchas partes del mundo debido a la influencia que tienen en la biodiversidad de la flora y, por ende, en la fauna de las áreas de suelo contaminado (Rodríguez et al., 2019, p. 13).

En el Ecuador, la producción minera es un factor socioeconómico muy importante, además de ser uno de los sectores más productivos después de la extracción de petróleo, y la exportación de camarón y banano, que contribuyen al crecimiento y desarrollo de la economía; sin embargo, esta actividad produce una serie de impactos negativos sobre el medio ambiente, exactamente sobre los suelos, la vegetación y otros recursos naturales (Agencia EFE, 2021, párr. 2-4).

La Ley de Minería (2011, p. 4) de la República del Ecuador clasifica a la minería según los niveles de producción, es así que se tiene la minería a gran escala, la mediana minería, la pequeña minería y la minería artesanal o de subsistencia.

La mayoría de las minas como en el cantón Centinela del Cóndor en Zamora Chinchipe, operan de manera similar informal o ilegal, lo que dificulta el control y la fiscalización del medio ambiente por parte del Estado, lo que se traduce en un aumento de la explotación y por lo tanto en una mala gestión de los recursos (Banco Central del Ecuador, 2015, p. 1).

El objetivo general del presente trabajo fue proponer un plan de restauración de suelos en las zonas afectadas por la explotación de la pequeña minería en la finca Suritiak, en la cual no solo existen impactos ambientales negativos como la pérdida y remoción de suelos, destrucción de la microfauna, pérdida de la biodiversidad y alteración de los ecosistemas del lugar, sino que también conlleva problemas sociales y económicos generando un aumento de la delincuencia y la pobreza de la población del sector (Vilela, et al., 2020, p. 230).

IMPORTANCIA

La relevancia del presente trabajo yace en definir adecuadamente la minería en el Ecuador y determinar las afectaciones resultantes de su proceso para su posterior remediación. Entendiéndola como la actividad vinculada a la explotación de los recursos naturales no renovables encontrados en la capa terrestre y que es responsable de importantes cambios negativos en el medio ambiente, particularmente de la degradación del suelo (Oca y Ulloa, 2013, p. 75).

El incumplimiento de la legislación ambiental por parte de los proyectos mineros muchas veces termina resultando en que las tierras explotadas no sean sometidas a su debida rehabilitación cuando las empresas cesan sus actividades mineras.

Para realizar la correcta restauración de áreas mineras es necesario llevar a cabo un plan de recuperación, para esto se debe tener un claro conocimiento de los factores ambientales presentes en el lugar (clima, geología, fauna, flora, hidrología, paisaje, etc.), así como los factores culturales que exhiben las poblaciones circundantes (demografía, economía e historia) del entorno y del lugar a recuperar (Oca y Ulloa, 2013, p. 78).

JUSTIFICACIÓN

Gran parte de los daños causados por la minería al medio ambiente están relacionados con la deforestación de los bosques naturales, el uso indiscriminado de minerales contaminantes y el desperdicio de los recursos hídricos para lavar el producto extraído. Es así como la deforestación provoca la degradación del ecosistema, es decir, pierde su funcionalidad y capacidad de proveer servicios ecosistémicos que incluyen la regulación del ciclo hidrológico de la región, la producción de oxígeno, la captura de carbono, la regulación de microclimas y la protección de los suelos, entre otros.

Las actividades en las áreas adyacentes a la actividad minera, específicamente en la finca Suritiak, que fueron afectadas después de la intervención para la extracción minera dentro de la fase de limpieza y extracción del mineral de oro, causó pérdidas de la capacidad productiva de la tierra. Esto, a su vez, causó una alteración del paisaje y los ciclos de vida dentro del ecosistema. La población local está preocupada por esto y desea encontrar formas de restaurar estas áreas, por lo que este estudio pretende contribuir y dar posibles soluciones basadas en su realidad, es prudente tomar medidas preventivas y realizar actividades de restauración para reducir la degradación de los suelos.

Es necesario formular un plan de restauración de suelos incorporando sistemas agroforestales en la finca Suritiak que permitan recuperar las coberturas vegetales afectadas por la remoción realizada por las operaciones mineras, la contaminación de las fuentes de agua y la contaminación del aire, para lograr a través de estas propuestas mitigar, corregir y compensar el impacto ambiental y forestal producido por este tipo de actividades en los diferentes ecosistemas.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Elaborar una propuesta de plan para la restauración de suelos en las áreas afectadas por la pequeña minería en la finca Suritiak, cantón Gualaquiza, provincia de Morona Santiago.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis de suelo para la identificación de la situación actual de tres zonas diferentes en la finca Suritiak, posterior a las actividades mineras.

- Diseñar un plan de restauración de suelos incorporando sistemas agroforestales en la finca Suritiak.

HIPÓTESIS

HIPÓTESIS NULA

El plan restauración y el análisis de suelos no contribuirán a la recuperación de las zonas afectadas por la pequeña minería en la finca Suritiak, cantón Gualaquiza, provincia de Morona Santiago.

HIPÓTESIS ALTERNA

El plan restauración y el análisis de suelos contribuirán a la recuperación de las zonas afectadas por la pequeña minería en la finca Suritiak, cantón Gualaquiza, provincia de Morona Santiago.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Minería

1.1.1. ¿Qué es la minería?

De acuerdo con el Banco Central del Ecuador (2015, p. 1), la minería es una actividad económica que incluye el proceso de extracción, explotación y uso de los minerales que se encuentran en la superficie de la capa terrestre, esto con fines de su comercialización; a través de la aplicación de la ciencia, técnicas y actividades que incurren en el descubrimiento y la explotación de los yacimientos de minerales.

Las principales causas de la minería es la búsqueda que realizan los países y las personas a la explotación favorable de las minas para incurrir en el ámbito económico del país, buscando el beneficio propio, pero al mismo tiempo se convierte en un ente contaminante, principalmente de las fuentes naturales de agua (Armijos, 2015, p. 11).

Las minas se construyen siempre cerca de los ríos debido a su fácil acceso para la limpieza de los metales. Esto nos lleva a deducir que los ríos también están seriamente afectados y contaminados por la minería ilegal y por las nulas leyes que la rigen, este tipo de minería contamina a través del uso de cianuro y sobre todo de mercurio; de los mineros artesanales, es imposible esperar acciones de remediación para el ambiente, debido a que no miden las consecuencias de la explotación antitécnica y solo buscan la retribución económica inmediata (Vásconez y Torres, 2018, p. 88).

La actividad minera ha dado a las comunidades aborígenes una falsa esperanza de riqueza, por lo que varias comunidades han llegado a tener conflictos armados para defender sus tierras de esta explotación y no han permitido que los métodos nocivos de las empresas mineras contaminen sus ecosistemas. Indistintamente, el gobierno continúa preparando planes de minería a gran escala en estos lugares ricos en minerales y metales pesados, en especial para casos de cobre y zinc (Armijos, 2015, p. 13).

1.1.2. Clasificación

1.1.2.1. Minería artesanal

La actividad minera artesanal está históricamente relacionada con la necesidad de obtener materiales por parte de la humanidad para la defensa y la caza, para la elaboración de herramientas, utensilios domésticos y en cierta medida para la alimentación (sal de roca), etc., siendo esta el único tipo de minería desarrollada hasta el inicio de la revolución industrial, que fue cuando se introdujeron métodos de mecanización y tecnificación para dar lugar a la Gran Minería; aunque la minería artesanal ha sobrevivido en ciertas partes del mundo bajo la informalidad y la ilegalidad (Añazco, 2013, p. 20).

De acuerdo a la Ley de Minería (2011, p. 39) de la República del Ecuador, la minería artesanal es aquella que se efectúa a través del trabajo individual, familiar o asociativo de quienes ejecutan actividades mineras y que se encuentran autorizadas por el Estado; y tiene la característica de usar herramientas y máquinas simples, de tipo portátiles. La comercialización de esta minería está destinada a cubrir las necesidades básicas de la persona o grupo familiar que la realiza, y que para iniciar sus procesos no han requerido una inversión superior a 150 remuneraciones básicas unificadas.

1.1.2.2. Pequeña minería

Es aquella que, por el área de las concesiones, volumen de producción y procesamiento, monto de inversiones y condiciones tecnológicas, tiene: Una capacidad instalada de explotación y/o beneficio de hasta 300 toneladas métricas por día. Una capacidad de producción de hasta 800 metros cúbicos por día, en relación con la minería no metálica y los materiales de construcción (Berrezuela y Domínguez, 2010, p. 54).

En 2016, existían 852 concesiones mineras para la pequeña minería, que representaban el 20,65% del área total concesionada. Las concesiones se concentraron principalmente en las provincias del sur del país como Azuay, El Oro, Loja, Zamora Chinchipe y Morona Santiago, y en menor medida en las provincias de Esmeraldas, Pichincha, Imbabura, Sucumbíos, Cotopaxi, Napo, Bolívar, Chimborazo y Cañar (Ministerio del Ambiente, 2020, p. 15).

1.1.3. Ventajas y desventajas del sector minero

Las particularidades dentro del sector minero se plasman, de acuerdo a las ventajas y desventajas catalogadas, estas se describen a continuación:

1.1.3.1. Ventajas de la minería

Un aspecto importante que señala la Constitución de la República del Ecuador (2011, p. 34), en el artículo 74, explica que, los recursos del subsuelo, el patrimonio natural en general debe beneficiar a todas las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades; por tanto, no podrían dejar de ser aprovechados.

Es así que, se pueden describir beneficios como: la generación de fuentes de trabajo directas e indirectas, genera ingresos, impuestos y regalías para el estado, también se puede notar que los pobladores aprenden nuevos oficios, se fomenta el consumo de productos de los pueblos, se genera inversión en infraestructura y se promueve la educación (Maldonado, 2021, párr. 4-10).

Además, los trabajadores reciben salarios dignos y están asegurados, se evita la minería ilegal, los recursos minerales se explotan de forma adecuada y responsable. Se destaca que, las empresas mineras que están llegando a Ecuador cuentan con toda la tecnología para cuidar el medio ambiente y generan muy poco impacto ambiental (Maldonado, 2021, párr. 11-13).

1.1.3.2. Desventajas de la minería

Una de las mayores desventajas que se ha podido constatar, es la contaminación de los recursos hídricos en los alrededores de los sitios mineros, los cuales han sido afectados por aguas residuales que son resultado de procesos de la extracción minera. Además, estas descargas han alterado el color de los recursos hídricos y su composición, perturbando a la fauna y flora propia de la zona explotada (Ministerio del Ambiente, 2020, p. 63).

Adicional se tienen como desventajas, la generación de ruido de maquinaria extractora en la minería mediana y grande, se tienen los conflictos con las comunidades aldeanas al sitio de extracción, además, puede cambiar las condiciones biológicas del lugar (Maldonado, 2021, párr. 17-22).

1.1.4. Explotación minera

La explotación y extracción de algunos metales preciosos como el oro se lo puede realizar por minería informal que es en base a métodos convencionales, donde se utiliza el peso específico del oro haciendo que los sedimentos pesados se separan por concentración gravimétrica. La explotación de yacimientos primarios con perforadoras a gasolina mejoró el avance de las excavaciones a partir de la década de 1980. A partir de la década de 1990, la minería mejoró al incorporar carros y vagones eléctricos. Al final de este tiempo, los procesos de cianuración, mejoran significativamente la recuperación de oro (Oviedo et al., 2017, p. 438).

No es posible pensar en calidad de vida de las personas sin tocar el tema del desarrollo económico, tema que está estrechamente relacionado con el uso extensivo de los recursos minerales que tienen que ver directamente con las actividades de minería, así que, el desarrollo responsable del sector minero en un país sería una de las principales herramientas para lograr una mejora, tanto en la calidad de vida como en el bienestar económico de la sociedad (Vilela, et al., 2020, p. 218).

La actividad extractivista como una de las principales actividades económicas, acarrea consecuencias ambientales, sociales, culturales y económicas, debido a la débil regulación y poco control, estas han puesto de manifiesto complejos conflictos de carácter socioambiental que impactan profundamente en las dinámicas poblacionales y que empiezan a ser motivo de preocupación por los efectos que se vislumbran en las condiciones de vida, la salud y el tejido social de las poblaciones cercanas a las zonas de extracción minera (La Rotta y Torres, 2017, p. 78).

Actualmente, los riesgos ocasionados como consecuencia del desarrollo productivo, generan así un aumento de las circunstancias de peligro. Significa que la producción o la realización de actividades mineras no son negativas desde el punto de vista económico, pero, cuando un Estado se enfoca únicamente en la producción, se deja de lado la protección de los derechos de la naturaleza, poniendo en riesgo el sistema ambiental (Alvarado, 2017, p. 27).

En países en vías de desarrollo es notorio mostrar este tipo de situaciones, en las que el Estado sólo ha aprovechado los recursos naturales sin dar la debida protección a la naturaleza. Según Vargas y Manrique (2015, p. 61), se ha encontrado que los países en desarrollo y pobres no son pobres por su falta de recursos, sino por su mal uso, invirtiendo en proyectos que no son beneficiosos para los ciudadanos.

Las consecuencias de la actividad minera provocan problemas ambientales y estos problemas pueden desencadenar en muchos conflictos sociales, pero no son en sí mismos un conflicto. La irresponsabilidad con la que se gestionan los residuos procedentes de las minas es un problema social que hay que resolver (Vilela, et al., 2020, p. 218).

El ser humano, a través de su paso por el planeta Tierra, ha realizado diversas actividades para sobrevivir, una de ellas, la minería, esta ha tenido considerado el impacto más significativo el efecto en la calidad y disponibilidad de los recursos hídricos en la zona del proyecto. Es así que no es sorprendente que también desempeñe un papel crucial en los ciclos biogeoquímicos, la productividad de los ecosistemas y la biodiversidad a nivel hemisférico y mundial (ELAW, 2010, p. 7).

Es de conocimiento que toda permutación en las funciones de almacenamiento y transferencia de los sistemas de agua dulce en determinados lugares (como tierras bajas) provocaran un cambio en otras zonas, dentro o fuera del mismo país, y en la trayectoria de su camino, debido al equilibrio de masa (Hammond, et al., 2013, p. 8).

1.2. Normativa Ambiental

1.2.1. Legislación respecto a la Minería y al Medio Ambiente

Las jurisdicciones que proceden del poder, tanto ejecutivo como legislativo, del Estado ecuatoriano, han puesto a disposición del pueblo procedimientos regularizados que se apoyan en normas jurídicas y sistematizan el medio ambiente para proteger el correcto ejercicio de los derechos de las personas, como se expresa en la Carta Magna, estos pueden ser naturales, jurídicos o de la propia naturaleza.

Mientras que, el ejercicio de la actividad minera en el país es regulado por el Ministerio de Minería, cuyos objetivos están orientados a priorizar la preservación de un ambiente sano, entre los que se mencionan: incrementar la productividad del sector minero; aumentar la inclusión de los actores mineros en el territorio nacional; reducir el impacto ambiental y social de las actividades mineras; elevar el nivel de modernización, investigación y desarrollo tecnológico en el sector minero (Ministerio de Minería, 2016, p. 12).

La minería en sus inicios no contaba con regulaciones y bases legales específicas para su desarrollo, lo que generaba rechazo y desinformación en la población respecto a esta actividad. En la actualidad y desde el año 2008, la minería cuenta con una ley remodelada, en la que se han establecido una serie de artículos que aseguran una buena práctica de la actividad minera responsable, concretamente, en el Artículo 1 de objeto de la Ley, que dice: “La presente Ley de Minería norma el ejercicio de los derechos soberanos del Estado Ecuatoriano, para administrar, regular, controlar y gestionar el sector estratégico minero, de conformidad con los principios de

sostenibilidad, precaución, prevención y eficiencia” (Ley de Minería, 2011, p. 2). Se desprende de los supuestos establecidos en la propia Constitución, pero los requisitos constitucionales señalados pueden percibirse como tan estrictos que aparentemente corren el riesgo de convertirse en imposibles de aplicar o ser tales que impidan la explotación minera.

De conformidad con el artículo 251 del Código Orgánico Integral Penal (COIP) (COIP, 2014), los delitos en contra de los recursos naturales tienen una sanción específica en cada caso, como en los delitos contra el agua:

La persona que, contraviniendo la normativa vigente, contamine, desequie o altere los cuerpos de agua, vertientes, fuentes, caudales ecológicos, aguas naturales afloradas o subterráneas de las cuencas hidrográficas y en general los recursos hidrobiológicos o realice descargas en el mar provocando daños graves, será sancionada con una pena privativa de libertad de tres a cinco años (p. 97).

De ahí que del análisis del daño ambiental existe un delito en contra del suelo, tipificado en el Artículo 252 del Código Orgánico Integral Penal (COIP, 2014), que establece:

La persona que, contraviniendo la normativa vigente o por no adoptar las medidas exigidas en las normas, contamine el aire, la atmósfera o demás componentes del espacio aéreo en niveles tales que resulten daños graves a los recursos naturales, biodiversidad y salud humana, será sancionada con pena privativa de libertad de uno a tres años (p. 98).

Consecuentemente, el Artículo 257 del mismo cuerpo legal penal (COIP, 2014), manifiesta la obligación que existe de la restauración y reparación de los daños ambientales causados como:

Las sanciones previstas en este capítulo, se aplicarán concomitantemente con la obligación de restaurar integralmente los ecosistemas y la obligación de compensar, reparar e indemnizar a las personas y comunidades afectadas por los daños. Si el Estado asume dicha responsabilidad, a través de la Autoridad Ambiental Nacional, la repetirá contra la persona natural o jurídica que cause directa o indirectamente el daño (p. 100).

1.3. Suelos

Es preciso aclarar varios conceptos considerando la importancia del tema de los suelos, ya que existen definiciones de acuerdo con el punto de vista de la ciencia o de la institución que la estudie.

Según Porta et al. (2008, p. 20) el suelo desde una perspectiva ecológica y agroforestal menciona que los suelos constituyen una cubierta delgada en la superficie terrestre, de unos pocos centímetros a varios metros. Como cuerpo natural, el suelo constituye una interfase que permite intercambios entre la litosfera, la biosfera y la atmósfera, mientras que desde la perspectiva agroforestal los suelos permiten el enraizamiento de las plantas (anclaje), con lo que estas pueden obtener agua, oxígeno y nutrientes. Gracias al suelo y a la radiación solar, las plantas, por medio de la fotosíntesis, producen alimentos, forrajes, fibras, masas forestales y energías renovables.

En conformidad con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (IDEAM, 2001, p. 64), los suelos y las tierras son un elemento de los sistemas naturales y brindan apoyo y sustento a las plantas. Son el resultado de las acciones de los procesos físicos, naturales y ambientales que se presentan en el planeta, se encargan de regular los procesos geodinámicos, biogeoquímicos y ecológicos encomendados a la estabilidad y el abastecimiento biológico. Cumplen funciones relacionadas al ciclo hidrológico y a la ecología, de gran trascendencia en la captación y regulación del agua de lluvia y escorrentía en los sistemas montañosos, así como en la conservación de la biodiversidad.

El suelo terrestre es un recurso natural limitado y no renovable, que proporciona distintos servicios a los ecosistemas y al medio ambiente en general, como su participación en los ciclos biogeoquímicos del carbono, nitrógeno, fósforo, etc., componentes clave para la vida que continuamente pasan de los sistemas vivos a los elementos no vivos del planeta. El conocimiento más general del suelo es que es el asiento natural para la producción de alimentos y materias primas de las que depende la humanidad (Burbano, 2016, p. 118).

1.3.1. Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos

1.3.1.1. Características físicas del suelo

Los diferentes usos que se les dé a los suelos dependen en gran magnitud de las propiedades físicas de éstos, de esta manera se puede determinar la capacidad del suelo para las diferentes actividades. Rucks et al. (2004, p. 2), mencionan que el estado físico de los suelos, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento de la planta, también la facilidad de penetración de las raíces,

la aireación, la capacidad del drenaje y de almacenamiento de agua, y la retención de nutrientes, por esto es necesario conocer las propiedades físicas del suelo, para entender en qué medida y cómo influye el crecimiento de las plantas.

Las características más importantes son: color, textura, estructura, porosidad, profundidad efectiva, drenaje; teniendo así:

Textura

El termino textura hace referencia a la proporción de las diferentes clases de tamaño de partículas, separación del suelo o fracciones en un volumen del suelo dado, la cual se describe como una clase textural; de forma general y considerando el contenido de arcilla, el suelo se puede clasificar en (FAO, 2009, párr. 8):

- Arenoso: < 10%
- Franco: 10- 30%
- Arcilloso: > 30%

La textura (Figura 1-1), determina la capacidad que tiene el suelo para la retención de agua y nutrientes, su permeabilidad (encharcamiento, riesgo de lixiviación de agua y nitrógeno, entre otros), y su capacidad para descomponer la materia orgánica.

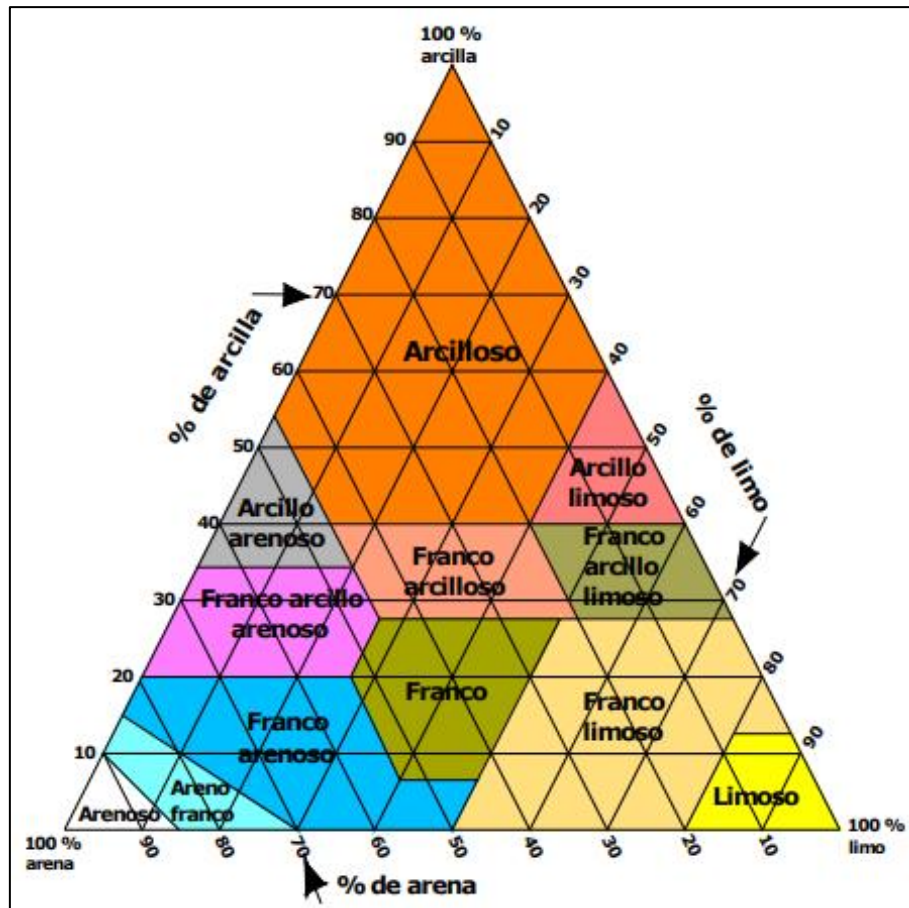


Figura 1-1. Diagrama triangular para la determinación de la textura del suelo

Fuente: Ciancaglini, 2010

La roca que forma el suelo se descompone y se desmorona en partículas de diferente tamaño, las más pequeñas son las arcillas, luego están los limos y las más grandes son las arenas (Rucks et al., 2004, pp. 2-3).

1.3.1.2. Características químicas del suelo

Las propiedades químicas que posee el suelo permiten reconocer ciertas cualidades que se pueden identificar cuando se producen cambios químicos o reacciones que alteran su composición. Se observa fundamentalmente al contenido de diferentes sustancias nutricionales como (Marín, 2011, pp. 65-91):

Macro y micronutrientes

Nitrógeno (N)

Se encuentra en distintas formas en el suelo, aunque es absorbido por las plantas y microorganismos como nitrato (NO_3) o amonio (NH_4). La falta de nitrógeno provoca color verde y pálido en las hojas. Para garantizar una nutrición nitrogenada óptima, la estrategia es optimizar el balance de nitrógeno en el suelo lo que se consigue maximizando las entradas y minimizando las salidas (Dobermann y Fairhurst, 2005, p. 1); el balance varía según:

- Cultivo y variedad.
- Suelo (principalmente textura).
- Fertilización.
- Nivel de materia orgánica.

El mayor reservorio de nitrógeno en el suelo se encuentra en los microorganismos que lo habitan como las bacterias, hongos y nematodos.

Fosforo (P)

Del total del P en los suelos solo un porcentaje muy bajo (entre 0,1 ppm y 0,3 ppm) se encuentra realmente en solución, lo que lo hace disponible para plantas y microorganismos. En la disponibilidad del P influye (Marín, 2011, p. 72):

- pH del suelo.
- presencia de Fe, Al y Mn.
- Minerales de calcio y magnesio disponibles.
- Cantidad y descomposición de materia orgánica.
- Actividad de microorganismos.

Calcio (Ca)

El Ca juega un papel importante en la fertilidad de los suelos al cumplir las siguientes funciones (Marín, 2011, p. 75):

- Ayuda a que se dé un buen crecimiento de la raíz y el tallo de la planta.

- Permite que la planta tome del suelo los alimentos fácilmente.
- Ayuda a reducir nitratos de la planta.
- Ayuda a neutralizar los ácidos orgánicos en la planta.
- Influye indirectamente en los rendimientos de los cultivos al reducir la acidez de los suelos.
- Contribuye a la fijación del N al ser requerido por las bacterias fijadoras.

Magnesio (Mg)

Componente principal de la clorofila en las hojas de las plantas, que al ser combinado con ATP o ADP funciona como activador de enzimas. Cuando se encuentra en bajas concentraciones en los suelos disminuye la producción de clorofila ocasionando clorosis intervenal y finalmente necrosis (Barrera et al., 2011, p. 86).

Potasio (K)

Es un elemento fundamental para la nutrición de las plantas al realizar las siguientes funciones (Marín, 2011, p. 74):

- Ayuda a formar tallos fuertes y vigorosos.
- Ayuda al balance de agua en las plantas.
- Favorece el crecimiento vegetativo.
- Da a la planta resistencia a las enfermedades.

Azufre (S)

El azufre en el suelo se ve limitado por los siguientes factores (Marín, 2011, p. 76):

- pH del suelo.
- Contenido de materia orgánica.
- Salinidad del suelo.

Hierro (Fe)

El Fe es el principal participante en la visualización de los colores que se observan en el suelo como amarillo-pardo en las zonas templadas-frías o coloraciones rojas en regiones áridas, en suelos con alto contenido de calcio el Fe es escaso debido a que se insolubiliza y no puede ser tomado por

las plantas. Es un catalizador implicado en la activación de enzimas que se necesitan en las reacciones de óxido-reducción y transferencia de electrones, también actúa como transportador de oxígeno y como cofactor en la síntesis de clorofila y en el adecuado funcionamiento de otras enzimas como catalasa, peroxidasa, ferredoxina y citocromos (Barrera et al., 2011, p. 87).

Manganeso (Mn)

El Mn presente en el suelo proviene de óxidos, carbonatos, silicatos y sulfatos. La presencia del Mn disponible, Mn (II, grado de oxidación), depende del pH y del potencial redox. Cuando existe pH superior a 5,5 la oxidación se ve favorecida por acción biológica en suelos con buena aireación, por lo que disminuye su disponibilidad; lo contrario ocurre en suelos con pH más ácido donde las formas oxidadas se reducen siendo más disponibles. Es participe en la activación de enzimas catalizadoras de la reducción de carbohidratos, formación de clorofilas, y síntesis de DNA y RNA; y se encuentra directamente implicado en la producción de oxígeno durante la fotosíntesis (Marín, 2011, p. 81; Barrera et al., 2011, p. 88).

Zinc (Zn)

El Zn se encuentra con mayor frecuencia en suelos ácidos que en alcalinos, siendo su mínima disponibilidad para pH por encima de 7. La deficiencia de Zn se da en una amplia variedad de suelos como son los sueltos, calcáreos, margosos y especialmente en suelos pobres en materia orgánica. Dentro de la planta el Zinc soluble participa en la disolución del suelo y el Zinc intercambiable es adsorbido por los coloides (Marín, 2011, p. 79).

Boro (B)

El B se encuentra en la disolución del suelo como ácido bórico, formando complejos con Ca o unido a compuestos orgánicos solubles. Los factores del suelo que influyen en su asimilación son (Marín, 2011, p. 79):

- El B queda fijado por el suelo cuando el pH es de 8 a 9.
- En suelos de textura liviana el B puede ser fácilmente lixiviado, mientras que en suelos de textura arcillosa su movilidad es prácticamente nula.

Dentro de la planta cumple un importante papel en la translocación de azúcares y carbohidratos; acciones importantes para el desarrollo de la pared celular, la división celular y el desarrollo de frutas y semillas (Barrera et al., 2011, p. 86).

Cobre (Cu)

Los sulfuros constituyen la primera fuente de suministro de Cu en el suelo. El Cu se halla en forma cúprica (CuII) en la fase sólida del suelo, formando parte de las estructuras cristalinas de minerales primarios y secundarios. Cumple un papel en la síntesis de clorofila, es constituyente de la plastocianina, componente que participa en la transferencia de electrones y de proteínas con actividad oxidasa y es participe de la síntesis de ADN y ARN (Marín, 2011, p. 81; Barrera et al., 2011, p. 87).

Algunas de las propiedades químicas de los suelos también son:

pH del suelo

EL pH del suelo está constituido por aspectos del clima, vegetación e hidrología donde el suelo se ha formado, por otra parte, es afectado por el material parental, la naturaleza química de la lluvia, las prácticas de manejo del suelo y las actividades que realizan los organismos (plantas, animales, microorganismos) que viven en el suelo. El valor del pH oscila entre 3,5 (muy ácido) y 9,5 (muy alcalino), los suelos con un pH de 6,5 son ideales para cultivos agrícolas (Agropal, 2017, párr. 1-10).

Capacidad de Intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) de una muestra de suelo o de cualquiera de sus componentes, expresa: el número de moles de iones de carga positiva absorbidos los cuales pueden ser intercambiados por unidad de masa seca, bajo determinadas condiciones de temperatura, presión, composición de la fase líquida y una relación de masa-solución dada (Rucks et al., 2004, p. 5).

1.3.1.3. Características biológicas del suelo

Materia Orgánica

La materia orgánica del suelo está constituida por la fracción orgánica que influye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en el suelo, así como sustancias producidas por los organismos del suelo. La materia orgánica se transforma en humus en un lapso de 3 a 4 meses, en condiciones ecológicas adecuadas la temperatura se encuentra entre 18 y 22 °C, presenta una óptima humedad y buena oxigenación con un pH 6,8. La materia orgánica es fundamental para el mejoramiento de los suelos de cultivo. Su presencia cumple las siguientes funciones (Universidad Complutense Madrid, 2005, p. 6):

- Mejorar su permeabilidad, teniendo así una mejor capacidad para almacenar agua y de esta forma facilita el laboreo para minimizar la erosión;
- Aporta nutrientes esenciales (nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, boro, cobre, hierro, magnesio entre otros);
- Favorece a la germinación de semillas y respiración de las raíces;
- Aumenta la capacidad de retención de agua;
- Incrementa la fertilidad potencial del suelo.

1.3.2. Importancia de suelos

El suelo es un recurso natural limitado, no renovable que brinda diversos servicios ecosistémicos o ambiental, por ejemplo, su participación en los ciclos biogeoquímicos de elementos claves para la vida como el carbono, nitrógeno, fósforo. Cada uno de estos elementos al entrar en contacto con el suelo son transferidos hacia los sistemas de los seres vivos e inclusive a los elementos no vivos del planeta. Lo que es más importante, el suelo es el asiento natural que permite la producción de alimentos y desde luego un sin número de materias primas de las que depende el hombre durante toda su vida (Silva y Correa, 2009, pp. 20-22).

Cabe mencionar que el suelo tiene una gran influencia en el ambiente en el que se encuentra e interviene en las actividades sociales y económicas de los grupos humanos que habitan en esta zona, que de una manera u otra generan un impacto sobre este, mayormente un impacto negativo. Por eso debe tratarse como un elemento que no puede ser reemplazado y darle un manejo respetuoso (Burbano, 2016, p. 119).

1.3.3. Fertilidad

Las formaciones de suelo en un área de estudio están estrechamente ligadas al relieve, ya que, en la mayoría de los casos, se formaron como resultado de la penetración y reubicación de partículas de suelo disueltas en el agua que fluye desde elevaciones más altas. Las aguas ricas en minerales de hierro y manganeso, principalmente, aumentaron su contenido en el perfil del suelo debido al frecuente acceso a zonas bajas y la deposición e infiltración a ciertas profundidades (Marín, 2011, p. 22).

Es deseable que el agua, a medida que ingresa al suelo, continúe fluyendo en un perfil hasta que los agujeros sean dos tercios de agua y un tercio de aire. Un suelo rico en arcilla, especialmente cuando el contenido de materia orgánica es bajo, puede almacenar tanta agua que se hace difícil airearlo. El suelo arenoso permite que el agua pase demasiado rápido y no lo suficiente para asegurar el crecimiento de las plantas durante la estación seca (Marín, 2011, p. 38).

1.4. Sistemas Agroforestales

1.4.1. ¿Qué es un Sistema Agroforestal?

Los sistemas agroforestales surgen como una alternativa para el desarrollo sostenible al facilitar el uso de los recursos naturales y mejorar las condiciones del suelo en aquellas áreas donde la degradación ha aumentado como consecuencia de la expansión de la frontera agrícola, el uso insostenible de los recursos forestales y los conflictos por el uso de la tierra entre otros factores (Ministerio del Medio Ambiente, 2000, p. 17).

El sistema consiste en un conjunto de arreglos, normas y técnicas que pretenden obtener una mejor producción a través de la asociación de especies vegetales (especies forestales con cultivos agrícolas), dándole prioridad a una productividad permanente y sostenible en el tiempo de todos los recursos que conforman dicho sistema (Ramírez, 2005, pp. 2-3).

1.4.2. Clasificación general de los sistemas agroforestales

1.4.2.1. Agroforestal

Arboles asociados con cultivos agrícolas

El sistema radica en establecer cultivos agrícolas con árboles, usando el espacio y el suelo

simultáneamente, pretendiendo que los árboles no compitan con los cultivos por la luz y los minerales. Las especies arbóreas pueden plantarse en contorno o en hileras alrededor de los cultivos. Entre las principales especies forestales que se adaptan al sistema están *Inga edulis* (guaba), *Cordia alliodora* (laurel), *Ochroma lagopus* (balsa), *Gliricidia sepim* (gliricidia), *Alnus acuminata* (aliso) y *Fraxinus americano* (fresno) (Ramírez, 2005, pp. 4-5).

El tamaño y forma de los árboles va a determinar el cultivo asociado, pudiendo ser especies como: *Mussa spp.* (plátano), *Anonas comosus* (piña), *Phaseolus spp.* (frijol), *Manihot esculenta* (yuca), *Solanum quitoense* (naranjilla), *Pssiflora edulis* (maracuya), entre otros. Se pueden establecer entre 40 y 60 árboles por hectárea en promedio (Ramírez, 2005, p. 5).

Cultivos perennes asociados con árboles

Los cultivos de *Coffea sp.* (café) y *Theobroma cacao* (cacao) en asociación con árboles maderables permiten un manejo integral, debido a que estos cultivos agrícolas necesitan alrededor de un 25 a 35% de sombra para poder lograr un mejor desarrollo y productividad. Entre las especies forestales que mejor se adaptan al sistema están las siguientes *Inga edulis* (guaba); *Cordia alliodora* (laurel); *Cedrela odorata* (cedro); *Melina arborea* (melina); *Psidium guajava* (guayaba); *Leucaena leucocephala* (leucaena); *Cibystax donnelsmithii* (guayacán); *Chizolobium parahybum* (pachaco), entre otras (Ramírez, 2005, p. 8).

1.4.2.2. Silvopastoril

Son aquellos compuestos por gramíneas rastreras o erectas, árboles y arbustos leguminosos o no, animales que se alimentan de los componentes y productos vegetales. Estos componentes al interactuar entre ellos ejercen una acción positiva o negativa sobre el suelo, el clima y sobre los productos del sistema. De otro lado, los factores climáticos, edáficos y bióticos ejercen una influencia sobre los componentes (Rodríguez, 2019, p. 3).

Arboles con pastos

El establecimiento de árboles con pastos es un sistema de producción complementario, mejora la crianza de ganado vacuno con propósito de obtener leche y productos cárnicos. Las especies forestales recomendadas son las maderables, que produzcan frutos y leña (Ramírez, 2005, p. 6).

Cercas vivas

Consiste en establecer árboles y arbustos en forma de líneas, intercalando una o varias especies para delimitar los pastos y además dar protección a los cultivos o pastos, y a controlar la erosión; al mismo tiempo producen forraje, madera y leña. Gestionadas adecuadamente sustituyen a las cercas de eslabones, duran más y reducen costos (Ramírez, 2005, p. 6).

1.4.2.3. Agrosilvopastoril

Compuestos por árboles con cultivos y ganado, son sistemas en los que se establecen árboles maderables con cultivos temporales, mientras los árboles crecen los cultivos se reemplazan por pastos, una vez los árboles alcanzan un tamaño determinado se explota el pasto con ganado (Rodríguez, 2019, p. 4).

1.4.3. Manejo de los sistemas de producción

Tiene como objetivo recuperar, acrecentar o conservar el nivel de productividad del sistema a medio y largo plazo. Los métodos utilizados buscan proteger el suelo de la erosión, mantener el ciclo de nutrientes, asegurar el suministro de agua y otros factores. El manejo también depende de los beneficios que se quieran obtener, esto va a depender de las especies a utilizar, el establecimiento y cuidado del sistema agroforestal, el uso del suelo, el control de plagas y enfermedades y la fertilización (Ramírez, 2005, p. 4).

1.4.4. Selección de especies

La selección de las especies se basa en (Ramírez, 2005, p. 7):

1. Establecer de preferencia especies arbóreas nativas.
2. Compatibilidad con los cultivos agrícolas.
3. Preferencia por leguminosas con el propósito de incorporar nitrógeno al suelo.
4. Capacidad de rápido crecimiento y rebrote.
5. Lograr el uso racional de todos los elementos del sistema establecido.

1.4.5. Control de malezas

Las malezas o malas hierbas en los cultivos deben ser eliminadas periódicamente mediante tareas como chapias, socolas o limpieza en general; esto se lo realiza para que haya competencia por luz

y nutrientes; para los árboles esta actividad es adecuada hasta los dos o tres años de edad. A la par es necesario hacer el coronamiento, que radica en eliminar las malas hierbas de forma mecánica alrededor de la base de las especies arbóreas en un radio de un metro (Benavides, 2013, p. 7).

Cuando se utiliza maquinaria pesada en las labores agrícolas y en condiciones de abundante vegetación, se acelera la destrucción de la estructura y composición de los suelos, reduciéndose la penetración del agua y aumentando la compactación del suelo; esto afecta al crecimiento normal de las raíces y a la absorción de nutrientes (Benavides, 2013, p. 7).

1.4.6. Suelos en sistemas agroforestales

El manejo del suelo en un sistema agroforestal busca alternativas para reducir los riesgos de erosión y consecuentemente mejorar su fertilidad a través de la implementación de algunas prácticas culturales como (Ramírez, 2005, p. 11):

- Conservar la cubierta vegetal u hojarasca durante la mayor parte del año para proporcionar protección a la superficie del suelo.
- Mantener el contenido de materia orgánica para retener nutrientes y aumentar la fertilidad del recurso suelo.
- Minimizar las actividades que remueven de materia orgánica en los cultivos.
- Evitar la quema de residuos para evitar la muerte de los microorganismos benéficos que viven en el suelo.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Caracterización del lugar

2.1.1. Localización

El área de estudio para la restauración de suelos estuvo localizada en la Finca Suritiak, parroquia Bomboiza, cantón Gualaquiza, perteneciente a la provincia de Morona Santiago, se encuentra ubicada al suroeste de la provincia de Morona Santiago.

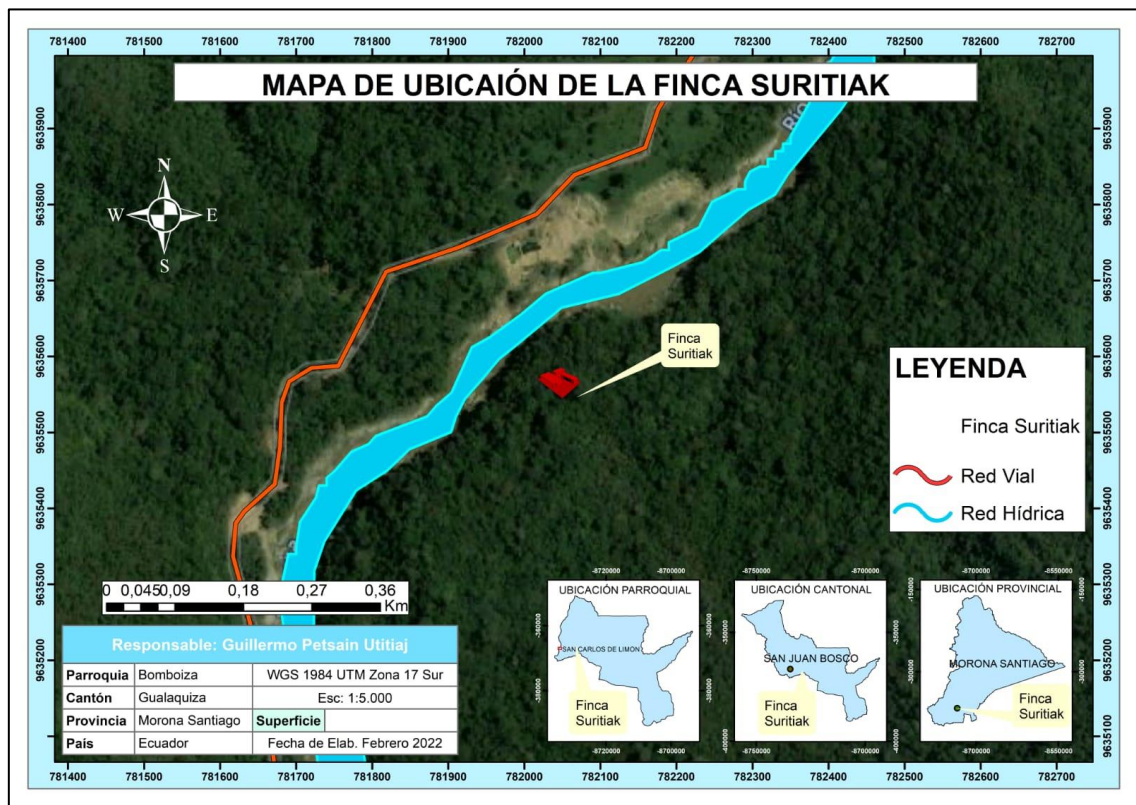


Figura 1-2. Mapa de ubicación de las áreas estudiadas

Realizado por: Petsain Utitaj, Guillermo, 2022

2.1.2. Ubicación geográfica

Lugar: Finca Suritiak- Cantón Gualaquiza.

Latitud: 3°73'24" S

Longitud: 78°34'30" W

2.1.3. Clasificación ecológica

Según el Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural (GADPR) de Bomboiza (GADPR Bomboiza, 2015, p. 43), la parroquia Bomboiza se encuentra dentro de una gran variedad de ecosistemas, siendo principalmente los de tipo bosque siempreverde montano y piemontano, teniendo áreas de herbazal del páramo, y arbustal siempreverde y herbazal montano de la cordillera del cóndor.

2.1.4. Características climáticas

El clima en el cantón Gualaquiza por lo general es lluviosa tropical por estar en los flancos externos de la cordillera occidental de los Andes. Según el INAMHI (2011; citado en GADPR Bomboiza, 2015, pp. 24-27) la estación meteorológica Gualaquiza reporta una precipitación anual de 1750 a 2000 mm con temperaturas mensuales de 20 a 22 °C y una humedad relativa del 86 %.

2.1.4.1. Geología

Geológicamente, el área de estudio se ubica cerca del borde de la Cuenca Pericratónica Amazónica en proximidad a la Cordillera Real de los Andes ecuatorianos (zona subandina), caracterizada por la presencia de rocas antiguas de diferentes edades y litologías, siendo estas de edad Triásica, compuesta por rocas metamórficas (Grupo Zamora); Secuencias mesozoicas sedimentarias y volcánicas del Jurásico y Cretácico, pertenecientes a la formación Chapiza, rocas sedimentarias del Cretácico, de las formaciones Hollín y depósitos aluviales y coluviales. Estas unidades estratigráficas están instruidas por rocas granodioríticas del Batolito Jurásico de Zamora, rocas tipo granito-gneis del Complejo Tres Lagunas (GADPR Bomboiza, 2015, p. 7).

2.1.4.2. Suelos

Los suelos de la parroquia Bomboiza y su distribución geográfica presentan criterios diferenciadores o propiedades particulares referentes a ha: material de origen morfológico, propiedades físicas y químicas, así como características climáticas y de relieve. De esta forma, en la parroquia Bomboiza, está representado por dos tipos de suelo del orden Inceptisol e Histosol (GADPR Bomboiza, 2015, p. 11).

2.1.4.3. Hidrología

Geográficamente, la provincia de Morona Santiago se encuentra ubicada en las cuencas hidrográficas de los ríos Pastaza, Morona y Santiago, todos ellos afluentes del río Amazonas (Vertientes del Amazonas). Tiene una superficie de 54.697 km². En el cantón Gualaquiza, por la topografía irregular del territorio, al estar ubicado en una zona de transición de la cordillera de los Andes a la Amazonía, resulta en la presencia de la vertiente oriental de la Cordillera Real y las montañas subandinas, así como como el aporte de la Cordillera del Cóndor (GADPR Bomboiza, 2015, p. 30).

2.2. Materiales y equipo

2.2.1. Materiales de campo

Fundas completar información, cámara fotográfica, Libreta de campo, lápiz, borrador, mochila, GPS (Magellan meridian color), cinta métrica.

2.2.2. Materiales de campo para el muestreo del suelo

Una pala o azada limpia, un balde, bolsas plásticas gruesas, rotulador de tinta, etiquetas, fundas de papel, regla o cinta métrica.

2.2.3. Materiales de oficina

Computadora, impresora, papel.

2.3. Metodología

La investigación se basó en un método bibliográfico, de acuerdo a la recolección de información teórica, que sirvió de base para la estructuración del proceso. La misma se complementó con la investigación de campo, que se distinguió por la generación de información primaria en el lugar de la investigación.

2.3.1. Cumplimiento del primer objetivo: Realizar el análisis de suelos para la identificación de la situación actual de tres zonas diferentes en la finca Suritiak posterior a las actividades mineras.

La toma de información geográfica (puntos GPS) se obtuvo con la ayuda de un técnico forestal, con un margen de error de 3 metros. Previo a ello, se realizó la división de las tres zonas de estudio de donde se obtuvieron las muestras de suelo para los respectivos análisis, la Zona A se caracterizó por ser un área desértica, con poca vegetación y en donde el trabajo de minería se realizó hace 4 años a una distancia de 0,5 km. La Zona B fue un área sin vegetación con una distancia de 0,65 km y en donde se empezó el trabajo minero hace 4 meses y aun se seguía laborando. La Zona C fue un área de estudio que aún no había sido explotada, con abundante vegetación.

Según INIAP (2020, p. 24) para la toma de muestras de calidad se deben tomar de 15 a 20 submuestras en forma de zigzag en cada área no mayor de 5 km a una profundidad de 20 cm. Por lo tanto, se tomaron tres muestras y submuestras de suelo en las áreas de estudio siguiendo los procedimientos pertinentes de la cual se separó un kilogramo de suelo, aproximadamente 2 libras que fueron enfundadas, etiquetadas y enviadas al Departamento Nacional de Manejo Suelos y Aguas en la Estación Experimental Tropical Pichilingue en Mocache, provincia de Los Ríos. En la fase de laboratorio se procedió a evaluar las variables físicas como la textura, las variables químicas como el pH, Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Azufre, Hierro, Cobre, Manganeso, Zinc, Boro. Como metales pesados: concentración de cadmio, Plomo y Capacidad de intercambio catiónico y la variable biológica como la materia orgánica.

2.3.2. Cumplimiento del segundo objetivo: Diseñar un plan de restauración de suelos con el sistema agroforestal en la finca Suritiak

En base a los resultados del análisis de suelos efectuado, fue necesario edificar actividades de restauración agroforestal. Una vez establecido un sistema agroforestal en este caso el sistema silvopastoril en donde se puede establecer arboles con pastos, es fundamentalmente necesario la implementación de labores culturales para su manejo en sistemas de producción, selección de especies, control de malezas.

De esta manera se mejora las condiciones del suelo en aquellas áreas que fueron degradadas como consecuencia del trabajo de la pequeña minería y dando una alternativa de desarrollo sostenible.

CAPITULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis de suelos de la Finca Suritiak

Una vez concluidas cada una de las aproximaciones anteriormente planteadas es necesario que se expongan cada uno de los resultados de manera descriptiva con base en detallar el estado actual de las zonas de análisis; la extensión de territorio se cataloga por medio de las zonas A, B y C perteneciente a la Finca Suritiak, parroquia Bomboiza, cantón Gualaquiza, perteneciente a la provincia de Morona Santiago.

3.1.1. Análisis de suelo de la Zona A

La Zona A posee varias particularidades (Tabla 1-3), dentro de las cuales destacan las siguientes: el pH del sector es ácido por lo cual requiere cal. El amonio (NH_4) de la zona es bajo con una cantidad de fosforo en igual intensidad. El potasio por su parte se encuentra en un rango medio de intensidad, el calcio por su parte se muestra con una numeración de 5 (rango medio). Un factor importante y preocupante es el magnesio de la zona, su valor denota una cantidad alta. Al respecto del azufre, este es bajo dentro de la muestra analizada; de igual manera lo es el zinc. Sin embargo, el cobre, hierro, manganeso se encuentra en una concentración alta y el boro está en una cantidad media. La existencia de materia orgánica en la muestra es baja con una cantidad igual a 0,9 %. Es necesario señalar que ninguna de las variables analizadas denota ser tóxica.

Tabla 1-3: Resultados del análisis de suelo en la Zona A

Zona A		
Parámetro Analizado		Resultado
pH		5,3
ppm	NH₄	4
	P	5
meq/100ml	K	0,21
	Ca	5
	Mg	3
ppm	S	4
	Zn	1,6
	Cu	4,4
	Fe	47
	Mn	16,6
	B	0,77

%	M.O.	0,9
	Ca/Mg	1,6
	Mg/K	14,29
	(Ca+Mg)/K	38,1
(med/100 ml)	Σ Bases	8,21
(meq/100g)	C.I.C.	11,59
Textura (%)	Arena	49
	Limo	34
	Arcilla	17
Clase Textural		Franco
Cadmio y plomo semitotal	Cd/(mg kg-1)	0,21
	Pb/(mg kg-1)	37,2

Realizado por: Petsain Utitaj, Guillermo, 2022

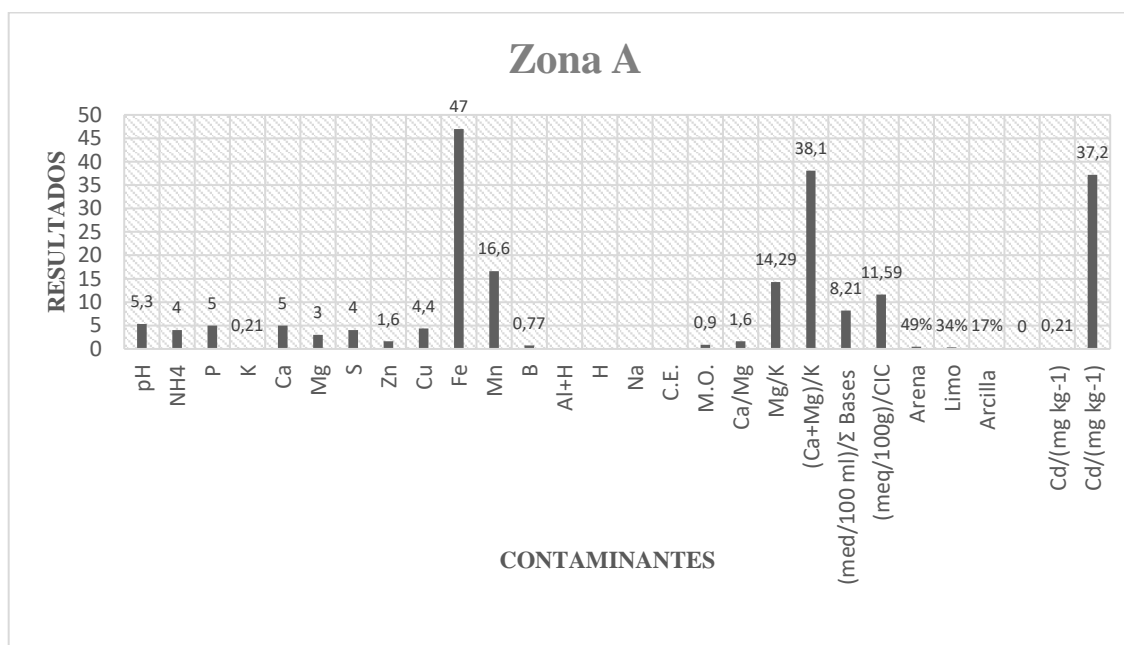


Gráfico 1-3. Contaminantes Zona A

Realizado por: Petsain Utitaj, Guillermo, 2022

La muestra de suelo tomada denota que el suelo, está compuesto por 17 % de arcilla, 49 % de arena y 34 % de limo; lo que denota una tipología de suelo que responde al nombre de franco. En su mayoría el suelo se compone de arena.

3.1.2. Análisis de suelo de la Zona B

Tras el análisis de la Zona B de estudio se puede acotar que el pH de la zona deja en manifiesto que la zona de muy acida. La cantidad de amoníaco NH₄ de la zona es bajo al igual que el fosforo. El potasio de la zona es bajo, el calcio es medio y por último el magnesio con un valor de 4,7

med/100 ml es alto. La cantidad de azufre de la zona es bajo, al igual del zinc. El cobre de la zona es medio con un 2,8 es medio en nivel, el hierro de igual manera y por último el manganeso; sin olvidar la cantidad de boro. La materia orgánica de la zona es baja con un porcentaje igual al 0,6 %, La textura del terreno denota ser franco limoso y muestra los siguientes porcentajes (Tabla 2-3).

Tabla 2-3: Resultados del análisis de suelo en la Zona B

Zona B		
Parámetro Analizado		Resultado
pH		5,8
Ppm	NH₄	5
	P	5
meq/100ml	K	0,21
	Ca	5
	Mg	4,7
Ppm	S	6
	Zn	1,3
	Cu	2,8
	Fe	33
	Mn	13,6
	B	0,8
%	M.O.	0,6
	Ca/Mg	1,4
	Mg/K	39,17
	(Ca+Mg)/K	97,5
(med/100 ml)	Σ Bases	11,82
(meq/100g)/	CIC	16,88
Textura (%)	Arena	47
	Limo	50
	Arcilla	3
Clase Textural		Franco-Limoso
Cadmio	Cd/(mg kg ⁻¹)	0,021
Plomo	Pb/(mg kg ⁻¹)	37,4

Realizado por: Petsain Utitaj, Guillermo, 2022

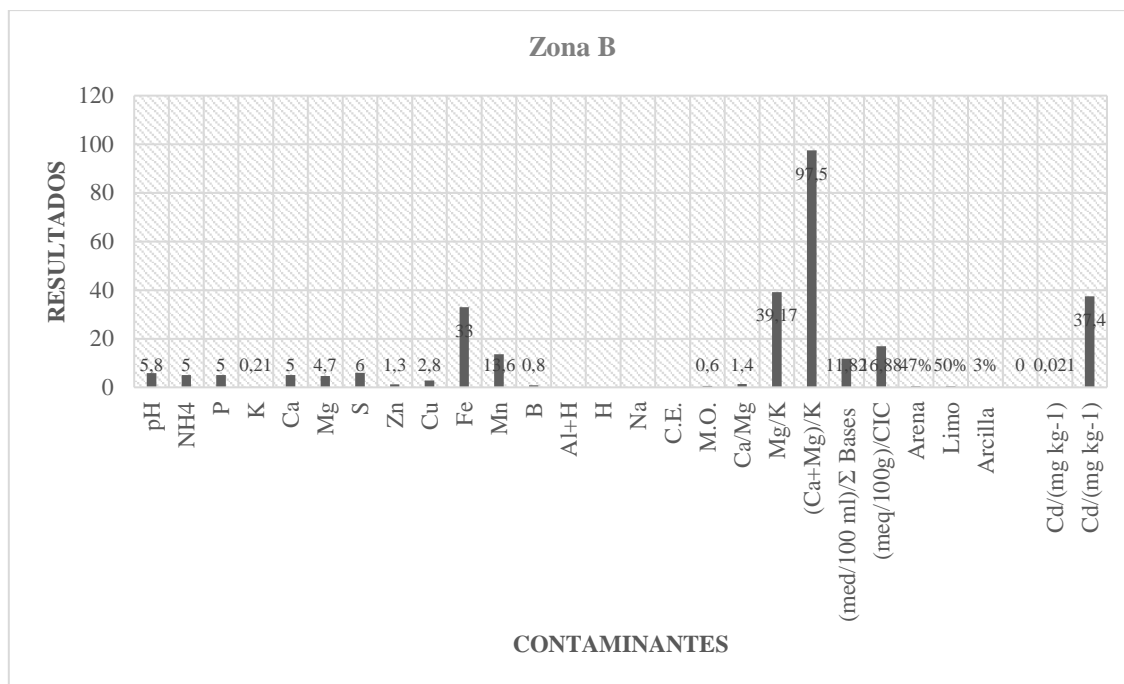


Gráfico 2-3. Contaminantes Zona B

Realizado por: Petsain Utitaj, Guillermo, 2022

La muestra tomada del suelo está comprendida por un 50 % de limo, 47 % de arena y por último un 3 % de arcilla. Es acertado afirmar que el suelo está conformado mayormente por limo lo que convierte al suelo en uno de tipo franco-limoso.

3.1.3. Análisis de suelo de la Zona C

La zona C posee varias particularidades (Tabla 3-3), dentro de las cuales destacan las siguientes: el pH del sector es muy ácido. El amonio de la zona es alto con una cantidad de fosforo en igual intensidad. El potasio por su parte se encuentra en un rango bajo de intensidad, el calcio por su parte se muestra con una numeración de 5 (rango medio). Un factor importante y preocupante es el magnesio de la zona, su valor denota una cantidad alta. Al respecto del azufre, este es bajo dentro de la muestra analizada; de igual manera lo es el zinc.

Sin embargo, el cobre, hierro, manganeso se encuentra en una concentración alta y el boro está en una cantidad media. La existencia de materia orgánica en la muestra ser baja con una cantidad igual a 1,1%. Es menester acotar que ninguna de las variables analizadas denota ser tóxica.

Tabla 3-3: Resultados del análisis de suelo en la Zona C

Zona C

Parámetro Analizado		Resultado
pH		4,9
ppm	NH4	81
	P	55
meq/100ml	K	0,15
	Ca	5
	Mg	2,2
ppm	S	4
	Zn	3,1
	Cu	10,4
	Fe	123
	Mn	43,9
	B	0,69
%	M.O.	1,1
	Ca/Mg	2,2
	Mg/K	14,67
	(Ca+Mg)/K	48
(med/100 ml)	Σ Bases	7,35
(meq/100g)	C.I.C.	11,01
Textura	Arena	39
	Limo	34
	Arcilla	27
Clase Textural		Franco
Cadmio	Cd/(mg kg-1)	0,2
Plomo	Pb/(mg kg-1)	37,4

Realizado por: Petsain Utitaj, Guillermo, 2022

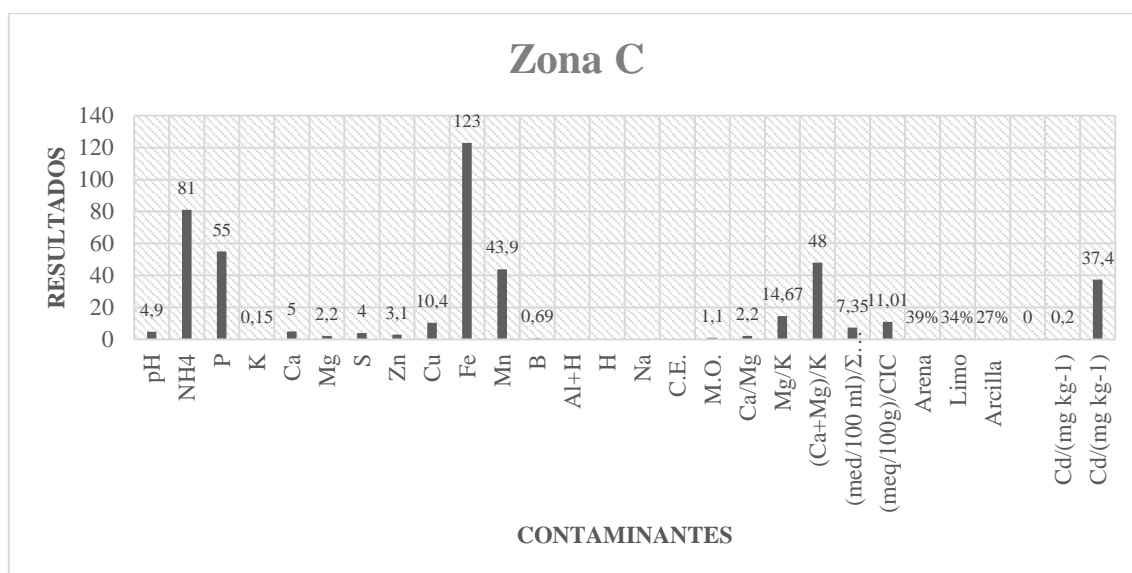


Gráfico 3-3. Contaminantes Zona C

Realizado por: Petsain Utitaj, Guillermo, 2022

La información recopilada denota que la zona C estudiada presenta una composición porcentual igual a; 34 % de limo; 39 % de arena y, por último, pero no menos importante 27 % de arcilla. Se denota que la composición mayoritaria es arena por lo que se lo considera un suelo franco.

3.1.4. Comparación del pH

Como se puede ver en el Gráfico 4-3, las tres zonas presentan pH inferior a 7, por lo que se los considera suelos ácidos, destacando la zona C con un pH de 4,9, siendo el suelo más ácido de los tres.

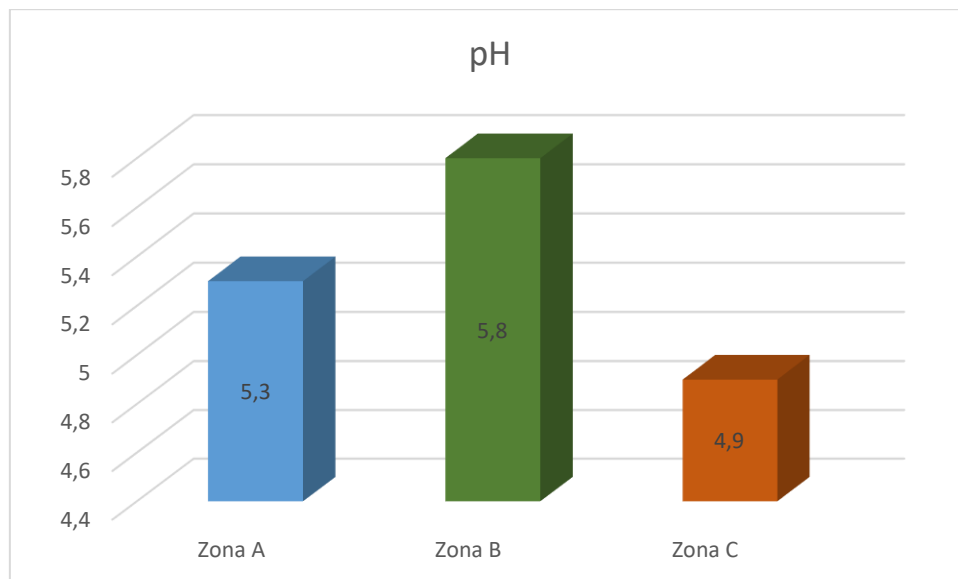


Gráfico 4-3. Comparación del pH en las zonas de estudio

Realizado por: Petsain Utitaj, Guillermo, 2022

3.1.5. Comparación de Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

La capacidad de intercambio catiónico presente en las tres zonas son las propias de un suelo franco y franco-limoso para el caso de la zona B, como el análisis observado en las Tablas 1-3, 2-3 y 3-3; debido a que, estos valores también entran en los estándares propuestos por Fertilab (2015, p. 2) donde mencionan que el suelo franco tiene una CIC de 10-15 meq/100 g= 1cmol/kg (centimoles de carga por kilogramos de suelo), mientras que el de un suelo franco-arcilloso (limoso) va de 15-30 meq/100g (Gráfico 5-3).

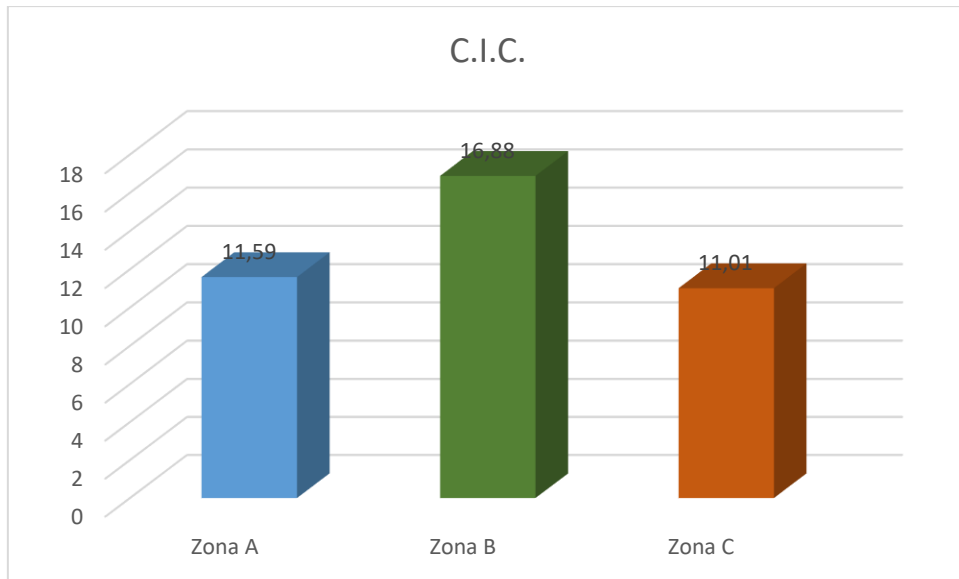


Gráfico 5-3. Comparación del CIC en las zonas de estudio

Realizado por: Petsain Utitaj, Guillermo, 2022

3.1.6. Comparación de los macronutrientes

Los macronutrientes en las tres zonas de estudio presentan valores similares, con excepción del NH_4 y P, que son mayores en la zona C, como se puede observar en el Gráfico 6-3.

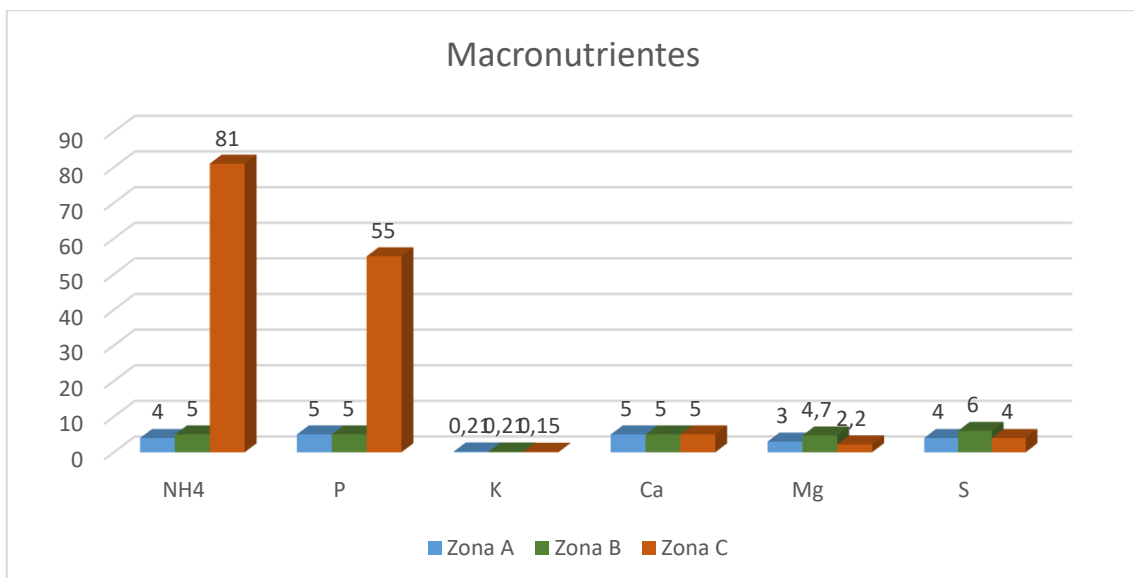


Gráfico 6-3. Comparación de macronutrientes en las zonas de estudio

Realizado por: Petsain Utitaj, Guillermo, 2022

3.1.7. Comparación de los micronutrientes

En el Gráfico 7-3 se puede observar una presencia mayor de Fe y Mn en comparación con los otros microelementos, pero principalmente en la zona de estudio C, donde los valores fueron de 123 y 43,9 ppm, respectivamente para cada elemento.

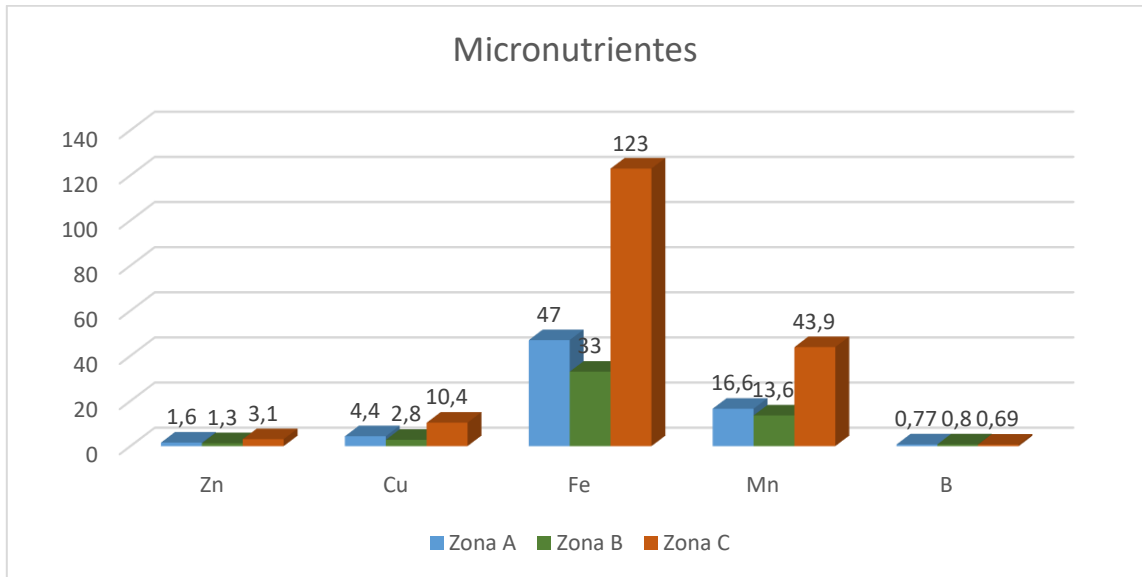


Gráfico 7-3. Comparación de micronutrientes en las zonas de estudio

Realizado por: Petsain Utitaj, Guillermo, 2022

3.1.8. Comparación de los metales pesados

El Gráfico 8-3 nos muestra una alta contaminación por plomo en las tres zonas de estudio.

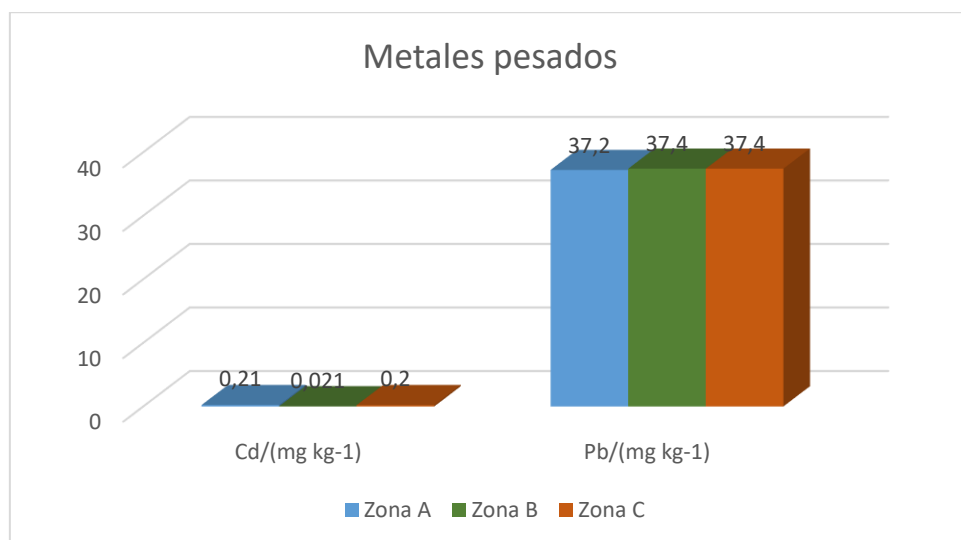


Gráfico 8-3. Comparación de metales pesados en las zonas de estudio

Realizado por: Petsain Utitaj, Guillermo, 2022

3.2. DISCUSIÓN

Tras el análisis de la información recabada es acertado hacer las siguientes afirmaciones, partiremos enunciando que todo el sector de análisis fue dividido en tres zonas A, B y C; y como método de interpretación tenemos en primera instancia al pH del suelo, donde cada una de las zonas de estudio presenta acidez en sus muestras. Mas sin embargo la Zona C es la que presentó una cantidad más alta con un valor de 4,9. En suelos con un pH inferior a 6, se produce una ralentización de la actividad biológica debido a los efectos negativos del exceso de acidez sobre los organismos del suelo, como las lombrices y las bacterias. En este caso, procesos microbianos como la nitrificación (la conversión del amonio NH_4^+ en el ion nitrato NO_3^- o la fijación del nitrógeno atmosférico, cuyo pH óptimo está entre 6 y 6,5, desaparecen por completo a un pH inferior a 4,5 (Soriano, 2015, p. 6).

En cambio, en suelos neutros o ligeramente básicos, el número de microorganismos es mayor y son más activos, especialmente cuando abundan los carbonatos y especialmente las calizas activas. En particular, es muy importante la mineralización o descomposición de la materia orgánica menos húmeda, por lo que los nutrientes que la componen están rápidamente disponibles para el cultivo. Pero si el pH del suelo es demasiado alto, algunos procesos microbianos también se ven afectados, por ejemplo, la nitrificación por encima de pH 9 prácticamente no está presente (Soriano, 2015, p. 3). Continuando con el análisis tenemos al amonio NH_4^+ mismo que presenta una cantidad desmesurada para la zona C de análisis, supera y con creces a las dos anteriores zonas. Varios factores como la aplicación de N por fertilizantes, rastrojos, MOS, microflora, volumen del suelo y composición mineral del suelo afectan la concentración de N-NH_4^+ en la solución del suelo (Neider et al., 2011, p. 12). En este estudio, el análisis de NH_4^+ detectado en las muestras de suelo claramente no es un valor tradicional. El mismo resultado fue observado por Chen et al. (2011, pp. 323-324) quien en sus ensayos a largo plazo pudo identificar que el amoniaco en grandes cantidades es un tema de alto impacto en el tratamiento del suelo. Por lo tanto, se necesita de una acción urgente para abordar esta necesidad, de hecho; es absolutamente necesario iniciar un tratamiento del suelo por medio de aportes de mineralización de rastrojos y MOS, debido al aumento de los rendimientos agrícolas asociados con la fertilización.

El fósforo puede ser catalogado como un elemento que puede contribuir directamente en la nutrición de las plantas; quienes pueden absorber tal sustancia en forma de mono y diácidos. En común considerar al fosforo como un elemento poco móvil debido a tendencia para reacciones con el medio. Es necesario acotar que el fosforo es un factor fundamental para las plantas. Aunque si hablamos de elementos como el nitrógeno, el fosforo es un factor que da calidad y precocidad a las plantas ya que acelera la maduración, a diferencia del nitrógeno, que prolonga el crecimiento

vegetativo. Desempeña un papel plástico, ya que se encuentra en toda la planta, especialmente en tejidos jóvenes y órganos de reserva. Ante esta situación, Fernández (2007, p. 54) asevera que el contenido de fósforo en el suelo debe oscilar con un valor alrededor de 0,05 ppm, que es una concentración más baja que la concentración adsorbida por las superficies del suelo activadas: 102 a 103 veces menor. Por lo tanto, cuando las plantas crecen en el suelo, solo una pequeña cantidad de fósforo debe entrar en contacto tanto con el suelo como con las raíces de ciertas plantas dentro de una cantidad m de tierra. La cantidad permisible de absorción se deriva de la cantidad de agua más fosforo absorbida por la raíz, y el aporte de fósforo estará determinado por su concentración en la solución del suelo. Esto lleva a la conclusión de que la difusión es el principal mecanismo de transporte de fósforo en el suelo, sin olvidar que cada es absolutamente controlar el contenido de fosforo. Para nuestro caso de estudio, en las tres zonas se evidencia grandes cantidades de fosforo es el suelo, con particular atención a la Zona C.

A nivel mundial, las actividades mineras son reconocidas como una de las principales fuentes de degradación de la calidad de los recursos naturales debido a sus efectos negativos sobre el medio ambiente. El principal problema es los remanentes mineros esparcidos en grandes áreas, que a menudo se abandonan con poco o ningún proceso de tratamiento y provocan la migración de metales pesados al entorno circundante, lo que conduce a la contaminación del suelo y la destrucción del paisaje (Khageshwar et al, 2015, p. 690).

La contaminación por parte de la pequeña minería radica en un análisis por metales pesado, tal es el caso del cadmio y el hierro. Actualmente, a nivel internacional, como los estándares para la concentración de cadmio se presentan con base en la normativa de cada país o en su defecto, no es un tema que mantenga estándares para su análisis exhaustivo (Riascos y Novoa, 2017, p. 13). Es decir, no existe un modelo que especifique el límite máximo permisible de cadmio de concentración en el suelo para la pequeña minería. Por lo tanto, para efectos de este estudio, se puede tomar los estándares de otros países, tal es el caso de las legislaciones de Alemania, Holanda, Chile, España y la Unión Europea; quienes tiene una industria minera en toda la extensión de la palabra. Con base en el análisis de suelos efectuado paras las tres zonas de análisis, se presenta la novedad que el cadmio en las zonas se presenta en un porcentaje medio (5, 7 y 5 meq/ 100 ml respectivamente) lo que indica que los suelos de esta región no se encuentran dentro de los límites aceptables de cadmio. La toxicidad del Fe provoca tanto en el suelo como en las plantas, un nivel elevado de estrés, lo que genera diversas deficiencias de nutrientes, condición que reduce el poder oxidativo de las raíces y sin mencionar la degradación desmedida del suelo. En la presente investigación con base en el análisis del suelo; se puede afirmar que el Fe evidenciado en las muestras tomada; se encuentra en un nivel alto para las zonas A y C; mientras que la zona B presente un nivel medio. Adicionalmente es importante destacar que la zona C

presente un incremento desmedido de hierro dado que su nivel es de 123 ppm. Esto puede provocar que las raíces de las plantas deficientes en potasio (K), fósforo (P), calcio medio (Ca) y/o magnesio (Mg) en altas cantidades excreten más metabolitos de bajo peso molecular (azúcares solubles, amidas, aminoácidos) que aquellas plantas que reciben una suplementación adecuada de estos nutrientes.

Esto hace que las bacterias anaerobias se reduzcan de Fe_3^+ a Fe_2^+ . El agotamiento continuo de Fe_3^+ contenido en la capa de óxido de hierro III (Fe_2O_3) que cubre las raíces puede paralizar la oxidación de Fe, lo que lleva a un flujo descontrolado de Fe_2^+ hacia las raíces de las plantas. Estos aspectos pueden verse claramente evidenciados cuando en las plantas aparece una mancha negra debido a la acumulación de H_2H en la superficie de las raíces. Esta es una clara indicación de condiciones tóxicas y sobre reductoras de Fe (Dobermann y Fairhurst, 2005, p. 2).

Los metales pesados están directamente asociados con la contaminación del suelo, la toxicidad de las plantas y los impactos negativos sobre los recursos naturales y la calidad ambiental, dependiendo de varios aspectos, como la toxicidad específica del metal, la bioacumulación, la persistencia y la no biodegradabilidad.

Continuando con el análisis de metales pesados, se contempla en esta oportunidad el cobre. En las zonas de estudio a la existencia del cobre denota que para la zona A y C su nivel es alto mientras que para Zona B es medio. Es acertado afirmar que para ejemplificar un análisis para determina toxicidad por cobre, es indispensable analizar las comunidades bacterianas, tal toxicidad está determinada por la concentración de cobre biodisponible; esta corresponde a la suma de las proporciones de cobre intercambiable y asociado a la materia orgánica. De estos fragmentos, es la fracción de intercambio la que tiene los efectos más tóxicos sobre las comunidades bacterianas. Uno de los indicadores más utilizados para determinar la sensibilidad de las comunidades bacterianas del suelo a los metales pesados es la determinación de la tolerancia de las comunidades bacterianas a los metales pesados (Demestre et al., 1999, p. 124).

El manganeso se encuentra en la corteza terrestre en forma de óxidos, carbonatos y silicatos. Su contenido total en el suelo típicamente varía entre 200 y 3000 mg-kg-1 y se puede encontrar en forma divalente, trivalente o tetravalente. Sin embargo, las formas más oxidadas son menos asimiladas por las plantas. Para la nutrición de las plantas, la forma más importante es Mn_2^+ , un catión divalente que, en condiciones ácidas, es adsorbido por los minerales del suelo, mientras que en presencia de altos niveles de materia orgánica forma complejos orgánicos (Gómez et al., 2007, p. 330). Esta situación no es un tema preocupante para la presente investigación dado que las

concentraciones de materia orgánica son relativamente bajas para cualquiera de las tres zonas. La presencia de materia orgánica fue de 0,9%, 0,6% y 1,1%, respectivamente.

Según Gómez et al. (2007, p. 335), el manganeso es estable dentro de la planta (floema) y su disponibilidad para los cultivos está influenciada por los factores del suelo que intervienen en el proceso redox, incluidos el pH, el contenido de materia orgánica, el agua del suelo y la actividad microbiana. Debido a la solubilidad de los compuestos que contienen Mn, su disponibilidad es alta en suelos ácidos. Cuando el valor del pH aumenta, su disponibilidad disminuye, ya que, por cada aumento de una unidad de pH, la concentración de este nutriente disminuye 100 veces; por lo tanto, en suelos con alta saturación de cationes, la susceptibilidad a la deficiencia puede ser mayor.

Un alto contenido en materia orgánica puede dar lugar a deficiencias debido a la formación de complejos Mn-materia orgánica. En condiciones ácidas, redox aumenta la disponibilidad de Mn y, en algunos casos, su toxicidad, siempre que el contenido natural del suelo sea suficiente. Además, puede haber una brecha entre el hierro y el manganeso lo que en varias ocasiones puede generar una serie de complicaciones en el cuyo supuesto que las cantidades de Mn y hierro sean sumamente elevadas. Esto puede provocar un pequeño conflicto en la presente investigación dada que se muestra que ambos elementos aun altos en todas las muestras recolectadas.

El boro es un micronutriente esencial que las plantas requieren para un crecimiento y desarrollo normales. Sin embargo, las soluciones del suelo tienen un rango de concentración que produce síntomas de deficiencia o toxicidad en las plantas. Si bien es cierto que los síntomas que provoca la presencia de boro en el suelo son más débiles que los de cualquier otro elemento, esto, unido a que estos rangos varían según las especies, puede causar grandes daños tanto al suelo como a las plantas. De hecho, un rango de concentraciones de B puede ser normal para cierto tipo de planta mientras que para otras puede ser tóxico o deficiente.

Los factores del suelo que afectan la disponibilidad de B para las plantas incluyen el pH, la textura, la humedad, el contenido y la calidad de la materia orgánica, y el tipo y el contenido del suelo. En general, la concentración de B de una solución de suelo está controlada por reacciones con superficies adsorbidas, incluidos óxidos de aluminio y hierro, hidróxido de magnesio, minerales arcillosos, carbonato de calcio y materia orgánica (Malavé, 2005, p. 23). Estas reacciones de retención pueden describirse utilizando modelos empíricos. Con base en el análisis de suelo realizada es acertado mencionar que las cantidades boro en la zona de análisis es medio con concentraciones de 0,77, 0,80 y 0,69 ppm respectivamente. Si se analiza todo el conjunto nos remitimos a la novedad que cada uno de los componentes favorecen a formar un equilibrio en la cantidad de

boro, pero en lo que respecta al pH para cada una de las zonas este es ácido lo que amerita en primera instancia un tratamiento para la reducción del pH. Situación que pueden ser abordada por medio de la colocación de azufre elemental, sulfato de hierro, ácidos aplicados a una especie de riego y por último fertilizantes nitrogenados. Desde este punto se puede ir efectuando varias tareas para ir solventado cada una de los requerimientos evidenciados.

3.3. Propuesta de plan de restauración de suelos afectados por la pequeña minería

3.3.1. Plan de restauración de suelos afectados por la pequeña minería

3.3.1.1. Introducción

La finca Suritiak está dentro de una comunidad denominada el Tiink la cual pertenece a la Asociación Arutam y a la organización Pueblo Shuar Arutam (PSHA) que está conformada por 60 comunidades y alrededor de 6000 mil habitantes. El territorio se ubica en la cordillera del Condor- zona fronteriza entre Ecuador y Perú cuyas montañas albergan especies de flora y fauna únicas y ecosistemas de alta diversidad.

Las 230 mil hectáreas que conforma el territorio Shuar Arutam están en constante peligro ante la incursión de la minería industrial a gran escala y la minería ilegal en donde el Estado Ecuatoriano ha entregado más de 160 concesiones mineras que sobrepone el 56% del territorio sin ser consultado con el pueblo si está o no de acuerdo con dichas actividades (Sánchez, 2020, p. 1).

La restauración se define como el proceso deliberado de iniciar o acelerar la recuperación de un ecosistema que ha sido alterado o destruido por la perturbación, en donde, su objetivo principal es recuperar la estructura, la función y la capacidad de auto sostenibilidad. La restauración de los suelos es una tarea difícil y lenta que requiere una cuidadosa planificación, implementación y seguimiento. El propósito de la restauración es devolver un bosque degradado a su condición original, es decir, restaurar la estructura, la productividad y la diversidad de especies del bosque que teóricamente estaba originalmente presentes en un sitio (Murcia et al., 2017, p. 10).

Los proyectos de restauración, que deben realizarse simultáneamente con el proyecto de explotación, tienen como objetivo la adecuación ecológica y paisajística de los terrenos afectados con vistas a la reintegración en el medio de la zona ocupada. Este plan de restauración comenzará con un análisis y evaluación de los cambios que se hayan producido en cada área y elementos, y en las distintas etapas de su desarrollo, con el fin de establecer las medidas correctoras necesarias para cancelarlas o mitigarlas. Los impactos más significativos asociados a la minería (Ayala et al., 1989, p. 6).

Todas las estrategias encaminadas a la restauración deben basarse en la gestión integrada de la biodiversidad, teniendo en cuenta los procesos y funciones ecológicos iniciales. Por lo tanto, no será suficiente identificar y prevenir los factores que provocan el declive; también existe la necesidad de ayudar a revertir esto a través de estrategias como la forestación, acciones de conservación de suelos y zonificación para prevenir el cambio de uso de suelo (Vargas, 2011, p. 222).

Ecuador es excepcionalmente rico por la diversidad de sus ecosistemas y la presencia de una gran masa forestal en diferentes puntos geográficos, lo que lo convierte en uno de los países más diversos del planeta. Sin embargo, la falta de políticas coherentes de conservación y manejo forestal ha permitido que este recurso vital se siga perdiendo y los bosques nativos sigan siendo afectados por la tala irracional y los procesos erráticos de colonización, con la consiguiente expansión de la superficie agrícola (Ministerio del Ambiente, 2013, p. 7).

Por lo anterior, surge la necesidad de elaborar un plan de restauración de suelos que incorpore sistemas agroforestales en la Finca Suritiak para corregir, reducir la cobertura terrestre afectada por las operaciones mineras, la contaminación de las fuentes de agua y el desplazamiento causado por la contaminación atmosférica y compensar los efectos ambientales y forestales derivados de este tipo de actividades sobre diversos ecosistemas.

3.3.1.2. Justificación

La presente propuesta se enlista como una en la cual se busca establecer una serie de estrategias para por medio de ellas se busque abordar el suelo y tratar de promover la sustentabilidad del mismo. Es bien sabido que la industria minera requiere de grandes extensiones de tierra en las cuales se elevan enormes estructuras que bajo ningún concepto se limitan a cuidar del suelo. De hecho, en reiteradas ocasiones se deja claramente en evidencia los desechos que tales acciones pueden dejar en el suelo y sus alrededores (suelos áridos, falta de humedad, suelos sin presencia de vegetación o demasiado limitada). Es por tal motivo que detallar actividades enfocadas en la recuperación del suelo es una temática de alto impacto sin mencionar las repercusiones que puede tener el desarrollo ambiental de una zona en particular.

3.3.1.3. Objetivos

Los objetivos que limitan la presente propuesta se enlistan a continuación:

- Desarrollar actividades y/o estrategias de recuperación de suelos con base en especies de sistemas silvopastoril para las zonas A y B.
- Detallar un costo para su aplicabilidad en las zonas de la Finca Suritiak, cantón Gualaquiza, provincia de Morona Santiago.

3.3.1.4. Consideraciones iniciales

Análisis de los principales impactos detectados

A continuación, se detalla el análisis de los principales impactos detectados en la Finca Suritiak debido a la actividad minera presente en la zona.

Tabla 4-3: Análisis de los principales impactos detectados

Impactos	Acciones correctoras o de recuperación
<ul style="list-style-type: none"> - Captación irreversible de suelo fértil mediante la creación de vacíos y vertederos (impacto severo), y la construcción de vías, casas y plantas de tratamiento (impacto moderado). - Inducción de efectos edáficos negativos en el entorno de explotación por operaciones derivadas de la construcción de vacíos, vertederos y vías (efectos locales moderados y correspondientes, por acumulación de residuos, elementos finos, polvo, etc.). - Alto nivel de acidez y de concentración de metales pesados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Retiro y deposición de tierra vegetal de las áreas ocupadas de la finca. - Diseño de un modelo de recuperación que permita el uso productivo y ecológico del suelo una vez explotado. - Adopción de medidas para evitar la formación de polvo, deslizamientos y caída de rocas.

Realizado por: Petsain Utitaj, Guillermo, 2022

Preparación del suelo para la regeneración de la capa vegetativa

El principal objetivo de esta actividad consiste en recuperar la calidad del suelo de la Finca Suritiak y de sus características físico-químicas, con el fin de crear condiciones óptimas para el desarrollo de la fauna y flora del sector. Los indicadores que servirán para dar seguimiento a la correcta ejecución de esta reparación se muestran a continuación:

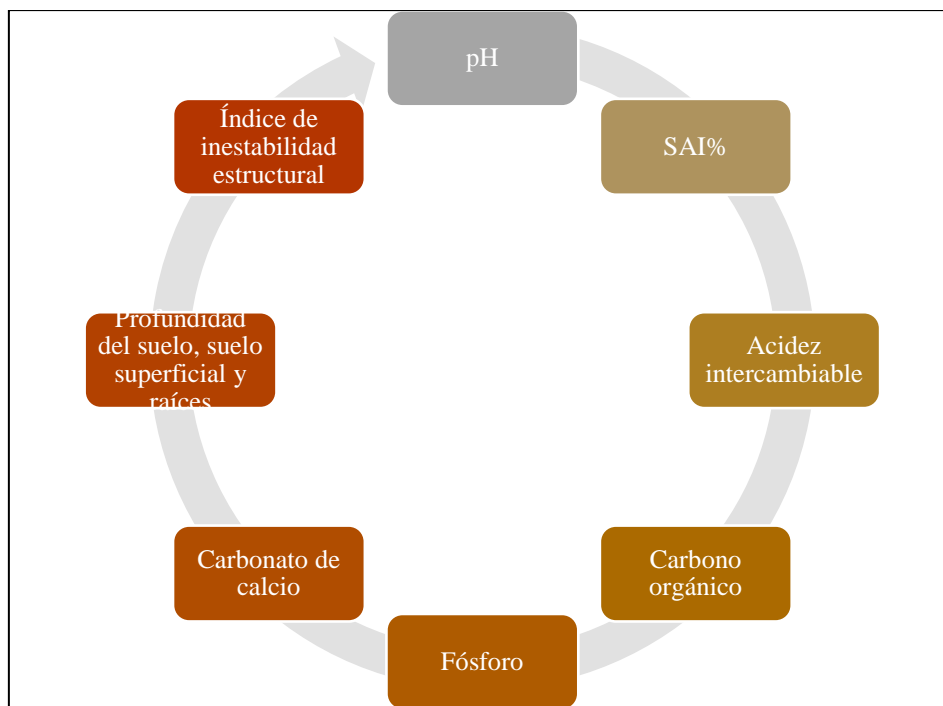


Figura 2-3. Indicadores para la restauración del suelo

Realizado por: Petsain Utitaj, Guillermo, 2022

Los programas y actividades detalladas a continuación se realizaron a partir de los resultados obtenidos por el estudio de suelo.

Aplicación de cal para estabilizar el pH del suelo: La cal se deriva principalmente de rocas calizas o de mármol y dolomita conocida como carbonato de calcio. Para estabilizar el pH del suelo, aplique 10 kg de carbonato de calcio al suelo seco y distribúyalo uniformemente sobre el suelo.

Agregar una enmienda orgánica al suelo: La enmienda recomendada es mantillo orgánico debido a la fuerte pendiente del área; este tipo de enmienda dificulta la lixiviación y pérdida de suelo, ya que se mezcla con astillas de madera o astillas de hojas y corteza de árboles; debe plantarse a una altura de 5 a 10 cm del suelo; debe estar bien ventilado y preferiblemente compostado; se debe rastrillar para nivelarlo y así mejorar las propiedades del suelo.

Trasplante de bloques de suelo: El objetivo de esta estrategia es introducir microorganismos del suelo al ecosistema, diversas fuentes de propagación y enriquecimiento de nutrientes y aprovechar el potencial de ciertas especies que permanecen viables en el suelo, lo que se debe hacer es buscar un ecosistema no perturbado y recolectar suelo a una profundidad de 10 cm y cada 15 metros cuadrados (alrededor de 13 hoyos en el suelo) cavar pozos en la mina de 6 cm de profundidad, en los cuales se recolecta el suelo.

Seguimiento y Control: Durante esta fase se deben alcanzar los siguientes objetivos:

- Elevar el pH de 3,8 a 4,5 a los 5 meses, el pH debe estar entre 5,5 y 6,0 a los 9 meses.
- Durante los primeros 6 meses el mulch debe ocupar el 50% del terreno y el porcentaje de SAI analizado debe estar en el nivel adecuado para la zona, el 50% del terreno debe tener estas características al final del año.
- Además de los indicadores ya propuestos como pH y SAI%, también se tendrá en cuenta el carbono orgánico del suelo.
- En mes y medio se deben llenar 7 huecos con tierra extraída del ecosistema no perturbado.

Proceso de revegetación

Su objetivo es la restauración del medio ambiente afectado por las labores de explotación a realizar. La obra principal consistirá en la adecuación geográfica de los terrenos afectados y la introducción de una cubierta vegetal, con las condiciones edáficas, climáticas y ecosistémicas de la zona con especies vegetales acordes a la situación actual de la finca.

Los indicadores que servirán para dar seguimiento a la correcta ejecución de esta revegetación se muestran a continuación:

Tabla 5-3: Indicadores de seguimiento de la revegetación

Indicadores de seguimiento
Números de metros cuadrados con vegetación
Número de metros cuadrados
Número de especies sembradas o plantadas
Número de especies sobrevivientes medidas cada dos meses
Altura de las especies

Elaborado por: Petsain Utitaj, Guillermo, 2022

Se reemplazará el suelo luego del proceso de relleno y regularización de las áreas alteradas. Para ello, se iniciará por reponer la capa intermedia de 20 cm, que se nivelará y regularizará. A partir de entonces, el suelo se enriquecerá con enmiendas orgánicas y minerales, y se labrará si es necesario. Se añadirá al suelo restaurado una enmienda orgánica con una dosis mínima de 2000 kg/ha de compost o estiércol maduro. El fertilizante compuesto NPK a utilizar tendrá una formulación 12-24-12 y se aplicará a razón de 150 kg/ha como mínimo.

Luego de estos trabajos, se nivelará el terreno en áreas planas donde se pueda operar la maquinaria agrícola. En las zonas periféricas donde no se haya eliminado la capa superficial, se aflojará el suelo mediante subsolado y rastras, dejándolo en continuidad con zonas de textura y calidad uniformes.

El suelo superior debe esparcirse por medios mecánicos. Después de que se haya dispersado la capa superficial del suelo, comenzará el reemplazo de la cubierta vegetal como cultivo o vegetación natural. La vegetación natural a plantar debe incluir especies propias de la variedad vegetal del encinar basófilo continental. La superficie cultivada se recuperará en zonas llanas y arboladas en los taludes frente al vertedero exterior, y en una franja de unos 50 metros. Junto al talud en el pozo de explotación una vez rellenado. Todas las áreas perturbadas se rehabilitarán ya sea mediante la replantación de cultivos o la replantación de vegetación natural. Se realizará en base a lo mostrado a continuación:

Tabla 6-3: Tipos de reposición

Tipo de reposición	Descripción
Reposición de cultivos	En el caso de áreas destinadas al cultivo, se siembra una mezcla de forrajes de uso común en esta área, compuesta por leguminosas y gramíneas. La siembra se realiza a razón de 200 kg/ha.
Reposición de vegetación natural	<p>Para la restauración de la vegetación natural en áreas delimitadas, se procederá primero a la siembra de especies silvestres, luego a la siembra de especies arbustivas y de plantación.</p> <p>En terrenos llanos con pendiente inferior a 15°, la siembra se realizará al voleo, con sembradora neumática o a mano, con una densidad de 200 kg/ha y con una mezcla de semillas adaptada a las condiciones del lugar o similar a la propuesta.</p> <p>La siembra en pendientes superiores a 15° (alrededor de 1 V/4 h) se realiza por hidrosiembra a una dosis de 250 kg/ha.</p> <p>La siembra se realizará en suelo preparado dependiendo de la humedad del suelo.</p>

Elaborado por: Petsain Utitaj, Guillermo, 2022

En cuanto a las especies utilizadas para la vegetación, se debe utilizar la que mejor se adapte a las condiciones ambientales (clima y condiciones del suelo) de la zona afectada, teniendo en cuenta por tanto el crecimiento de la vegetación natural, debiendo seleccionarse especies autóctonas.

Las especies seleccionadas deben cumplir con los siguientes criterios:

- Que el sistema radicular desarrollado forme una red de retención de suelo y tiene un rápido crecimiento.
- Deben ser frugales, es decir, debe ser rico en nutrientes normales y requerir menos cantidad.
- Debe ser fácilmente adaptables a las condiciones del suelo y ambientales.
- Deben ser accesibles y económicos.

Las especies seleccionadas para la plantación son las siguientes: *Ochroma pyramidale* (Balsa) *Inga edulis* (guaba), *Psidium guajava* (guayaba)

Los procesos de siembra y plantación son detallados a continuación:


Tabla 7-3: Procesos de siembra y plantación


Proceso	Descripción
Siembras	<p>En el caso de áreas destinadas al cultivo, se siembra una mezcla de forrajes de uso común en esta área, compuesta por leguminosas y gramíneas. La siembra se realiza a razón de 200 kg/ha.</p> <p>La siembra se realiza en superficies planas con pendiente menor a 15°, al voleo, con sembradoras neumáticas o a mano, a una densidad de 200 kg/ha y con mezclas de semillas adaptadas a las condiciones locales. Igual o igual a la mezcla propuesta.</p> <p>La siembra en pendientes superiores a 15° (alrededor de 1 V/4 H) se realiza mediante hidrosiembra con una densidad de 250 kg/ha.</p>
Plantaciones	<p>La plantación se hará según el proceso natural de este tipo de operaciones, abriendo el hoyo de plantación con algunos golpes de pala sobre la tierra ya suelta. La planta se coloca en el pequeño hueco abierto, que cubre y deja todas las raíces hasta el cuello de la planta y forma un pequeño tapón a su alrededor. Todas las plantas deben regarse después de la siembra.</p> <p>Se debe diversificar la distribución y espaciamiento entre arbustos, pero no la proporción de especies, evitando la excesiva homogeneidad y distribución geométrica en la búsqueda de una alternancia definida de especies. Inmediatamente después de la siembra, se debe regar cada planta. Todas las plantas deben regarse el día de la siembra.</p> <p>No se requieren operaciones de mantenimiento, excepto en caso de sequía en primavera y verano después de la plantación/siembra. En este caso, el riego debe hacerse con un depósito de 10.000 litros, sobre todo cuando se ve amenazado el éxito de la revegetación.</p>

Elaborado por: Petsain Utitaj, Guillermo, 2022

Acciones delimitadas por sector

Tabla 8-3: Acciones Zona A

Acciones para la recuperación de suelos		Autor: Guillermo Petsain
Zona	Contaminantes	Composición del Suelo
A	<ul style="list-style-type: none"> • pH del sector es ácido ligeramente alcalino • Amonio de la zona es bajo • Cantidad de fosforo bajo • Potasio en un rango medio de intensidad • Calcio en rango medio • Magnesio en rango alto • Azufre en alta intensidad • Boro en cantidad media • Cobre y hierro en concentración alta 	<ul style="list-style-type: none"> • 17% de arcilla • 49% de arena • 34% de limo
Estrategias de Biorremediación		
<p>1.- Adecuación del suelo; aplicar 10 kg de carbonato de calcio al suelo seco y distribúyalo uniformemente sobre el suelo para constatar el pH existente en el suelo.</p> <p>2.- Colocación de plantas hiperacumuladoras: <i>Cardamonopsis hallerii</i> y <i>Cyperus conglomeratus</i>.</p> <p>3.- De igual manera realizar la plantación de <i>Ochroma pyramidale</i></p>		
		
<i>Ochroma pyramidale</i>		

Acciones para la recuperación de suelos	Autor: Guillermo Petsain
	
<i>Cyperus conglomeratus</i>	

Elaborado por: Petsain Utitaj, Guillermo, 2022

Tabla 9-3: Acciones Zona B

Acciones para la recuperación de suelos		Autor: Guillermo Petsain
Zona	Contaminantes	Composición del Suelo
B	<ul style="list-style-type: none"> • pH del sector muy ácido • Amonio de la zona es bajo • Cantidad de fosforo bajo • Potasio bajo • Calcio en rango medio • Magnesio en rango alto • Azufre en baja intensidad • Zinc en baja intensidad • Boro en cantidad media • Cobre y hierro en concentraciones medias • Materia orgánica baja 	<ul style="list-style-type: none"> • 47% de arcilla • 49% de arena • 50% de limo
Estrategias de Biorremediación		
<p>1.- Adecuación del suelo; aplicar 10 kg de carbonato de calcio al suelo seco y distribúyalo uniformemente sobre el suelo para constatar el pH existente en el suelo.</p> <p>2.- Colocación de plantas hiperacumuladoras <i>Brassica juncea</i>, <i>Colocasia esculenta</i>, <i>Vetiveria zizanioides</i> y la <i>Inga edulis</i></p>		



Inga edulis (guaba)

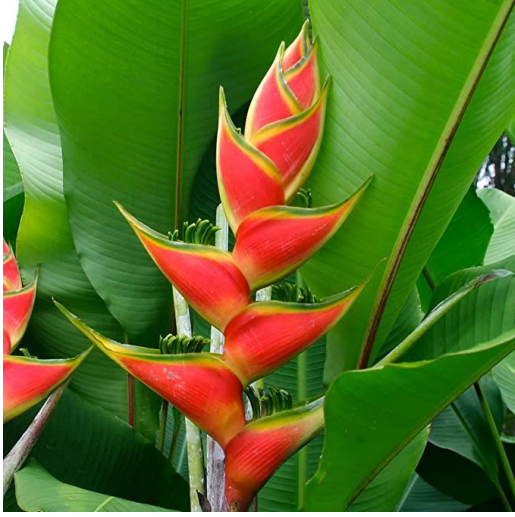



Colocasia esculenta



Vetiveria zizanioides

Tabla 10-3: Acciones Zona C

Acciones para la recuperación de suelos		Autor: Guillermo Petsain
Zona	Contaminantes	Composición del Suelo
C	<ul style="list-style-type: none"> • pH del sector muy ácido • Amonio de la zona s alto • Cantidad de fosforo alto • Potasio bajo • Calcio en rango medio • Magnesio en rango alto • Azufre en baja intensidad • Zinc en baja intensidad • Boro en cantidad media • Cobre y hierro en concentraciones altas • Materia orgánica baja 	<ul style="list-style-type: none"> • 27% de arcilla • 39% de arena • 34 % de limo
Estrategias de Biorremediación		
<p>1.- Adecuación del suelo; aplicar 10 kg de carbonato de calcio al suelo seco y distribúyalo uniformemente sobre el suelo para constatar el pH existente en el suelo.</p> <p>2.- Colocación de plantas hiperacumuladoras: <i>Phragmites</i>, <i>Heliconia</i> y <i>Psittacorum</i></p>		
		
<i>Heliconia</i>		

Acciones para la recuperación de suelos	Autor: Guillermo Petsain
 <p data-bbox="767 745 916 779"><i>Phragmites</i></p>	

Elaborado por: Petsain Utitaj, Guillermo, 2022

Nota: No se presenta en detalle el presupuesto dado que depende de la adaptabilidad de las plantas al terreno por lo que estima un costo de \$ 2000 dólares por sector.

Se recomienda colocar cada una de las plantas mencionadas en cada punto posible con una separación de al menos un metro.

CONCLUSIONES

Una vez culminado el análisis de resultados se pueden aseverar las siguientes afirmaciones:

- Las zonas de muestra analizadas tenían bajo contenido de arcilla y materia orgánica, lo que resulta en una baja capacidad de adsorción de minerales y por supuesto una baja calidad productiva del suelo. Adicionalmente se evidencia la presencia de pH bajo en cada zona, resultando en una zona con suelo ácido lo que provoca la ralentización de la actividad biológica. Se encontró que las concentraciones de Fe y Zn oscilan entre los rangos de baja a media, mientras que el Fe se mantiene alto en concentración y por lo tanto pueden representar un riesgo para el ecosistema. El Mn se asoció principalmente con Ca/Mn; una condición que indica que este elemento podría ser potencialmente móvil. Finalmente, se encontraron altas concentraciones de Cu que pueden ser tóxicas para el crecimiento y desarrollo de las plantas de los alrededores de suelo. Los resultados obtenidos en este trabajo pueden servir como base para ampliar el conocimiento sobre la concentración de Fe, Zn, Cu y Mn presentes en suelos ya que son metales pesados que están directamente asociados con la contaminación del suelo, la toxicidad de las plantas y los impactos negativos sobre los recursos naturales y la calidad ambiental dependiendo varios aspectos.
- El diseño del plan de restauración propuesto se desarrolló en base a las características actuales del suelo y del ecosistema perteneciente al área de estudio. Este plan de restauración comenzara con el análisis y evaluación de los cambios que se hayan producido en cada área en distintas etapas de su desarrollo con el fin de establecer las medidas necesarias para mitigar este impacto. En este sentido se utiliza el sistema silvopastoril que es parte de uno de los sistemas agroforestal ya que es uno de métodos factible y que se adapta al suelo como primera fase de la restauración del suelo.

RECOMENDACIONES

En base a las conclusiones antes expuestas, se detallan las principales recomendaciones obtenidas:

- Dada la versatilidad y alcance de evaluar el potencial de restauración de un ecosistema, la propuesta descrita anteriormente puede utilizarse para determinar la factibilidad de un potencial proceso de restauración, no solo para ecosistemas afectados por la minería, sino para cualquier área en las que se deben establecer programas para la recuperación, rehabilitación y restauración de los suelos afectados.
- Por su costo y efectividad se recomienda estabilizar el pH con cal activada, así como agregar enmiendas orgánicas o fertilizantes en días secos, para no perder la capa de nutrientes en el proceso de lluvia.
- Además, se recomienda estudiar la composición del suelo de la Finca Suritiak y la actividad microbiana, ya que estos son un bioindicador muy eficaz por su mayor sensibilidad y rápida respuesta a las perturbaciones del suelo. También se deben realizar estudios microbiológicos del suelo y se deben abordar cuestiones como la biolixiviación.

BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA EFE. *La exportación minera de Ecuador creció un 134 % en los primeros ocho meses de 2021* [En línea]. Madrid-España: Agencia EFE, 2021. [Consulta: 06 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.efe.com/efe/america/economia/la-exportacion-minera-de-ecuador-crecio-un-134-en-los-primeros-ocho-meses-2021/20000011-4657712>.

AGROPAL. *El pH del suelo en la agricultura* [En línea]. Huesca-España: Agropal, 2017. [Consulta: 17 noviembre 2021]. Disponible en: <http://www.agropal.com/es/el-ph-del-suelo/>.

ALVARADO, J. “Impactos económicos y sociales de las políticas nacionales mineras en Ecuador (2000-2006)”. *Revista de Ciencias Sociales* [En línea], 2017, (Venezuela) 23 (4), pp. 53-64. [Consulta: 10 noviembre 2021]. ISSN: 1315-9518. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/280/28055641005.pdf>.

AÑAZCO, R. Necesidades de establecer nuevos parámetros en la Ley de Minería, en relación a la Minería Artesanal de conformidad con lo que establece el Artículo 11, Numeral 2 de la Constitución de la República del Ecuador.- Proyecto de Reforma de la Ley de Minería (Tesis) (Abogacía). [En línea] Universidad Nacional de Loja, Modalidad de Estudios a Distancia, Carrera de Derecho. Loja-Ecuador. 2013. p. 20. [Consulta: 08 noviembre 2021]. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/6185/1/Richar%20Fabi%20c3%a1n%20A%20c3%b1azco%20D%20c3%a1vila.pdf>.

ARMIJOS, S. Contradicción entre el Art. 49 y el Art. 65 de la Ley de Minería Respecto al Derecho de Libre Comercialización (Tesis) (Abogacía). [En línea] Universidad Nacional de Loja, Área Jurídica, Social y Administrativa, Carrera de Derecho. Loja-Ecuador. 2015. pp. 11-13. [Consulta: 07 noviembre 2021]. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11722/1/TESIS%20Doris%20Patricia%20Armijos%20Ch.pdf>.

AYALA, F.; et al. *Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería* [En línea]. Madrid-España: Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1989. p. 6. [Consulta: 03 marzo 2022]. ISBN: 84-7840-019-2. Disponible en: http://info.igme.es/SidPDF%5C065000%5C106%5C65106_0001.pdf.

BANCO CENTRAL DEL ECUADOR. *Sector Minero. Cartilla Informativa* [En línea]. Quito-Ecuador: Banco Central del Ecuador (BCE), 2015. p. 1. [Consulta: 06 noviembre 2021].

Disponible en:
<https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/cartilla00.pdf>.

BARRERA, J.; et al. *Nutrición mineral* [En línea]. Bogotá-Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2011. pp. 86-88. [Consulta: 16 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/NutricionmineralUnivColombia.pdf>.

BECERRIL, J.; et al. “Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación”. *Ecosistemas* [En línea], 2007, (España) 16(2), pp. 1-6. [Consulta: 06 noviembre 2021]. ISSN: 1132-6344. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/540/54016206.pdf>.

BENAVIDES, A. Evaluación de los sistemas agroforestales para la elaboración de un plan de manejo y aprovechamiento sustentable de los recursos en el ceypsa, parroquia Eloy Alfaro, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi (Tesis) (Ingeniería). [En línea] Universidad Técnica de Cotopaxi, Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Carrera de Ingeniería en Medio Ambiente. Latacunga-Ecuador. 2013. p. 7. [Consulta: 25 noviembre 2021]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/1640/1/T-UTC-1514.pdf>.

BERREZUELA, E.; & DOMÍNGUEZ, M. *Técnicas aplicadas a la caracterización y aprovechamiento de recursos geológico-mineros* [En línea]. Oviedo-España: Instituto Geológico y Minero de España, 2010. p. 54. [Consulta: 08 noviembre 2021]. ISBN: 978-84-96023-87-1. Disponible en: <https://www.cytcd.org/sites/default/files/Tecnicas%20Aplicadas%20a%20la%20caracterizacion%20y%20aprovechamiento%20de%20recursos%20geologico-mineros.pdf>.

BURBANO, H. “El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria”. *Revista de Ciencias Agrícolas* [En línea], 2016, (Colombia) 33(2), pp. 117-124. [Consulta: 13 noviembre 2021]. ISSN: 0120-0135. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v33n2/v33n2a11.pdf>.

CHEN, X.; et al. “Abundance and community structure of ammonia-oxidizing archaea and bacteria in an acid paddy soil”. *Biology and Fertility* [En línea], 2011, (China) 47(1), pp. 323-331. [Consulta: 01 abril 2022]. ISSN: 1432-0789. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-011-0542-8>.

CIANCAGLINI, N. *Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico* [En línea]. San Juan-Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2010. p. 2. [Consulta: 15 noviembre 2021]. Disponible en: http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20_R001_Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20textura%20de%20suelos%20por%20m%C3%A9todo%20organol%C3%A9ptico.pdf.

COIP. *Código Orgánico Integral Penal, COIP* [En línea]. Quito-Ecuador: República del Ecuador, 2014. pp. 97-100. [Consulta: 13 noviembre 2021]. Disponible en: https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/03/COIP_act_feb-2021.pdf.

CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. *Constitución de la República del Ecuador 2008* [En línea]. Quito-Ecuador: Organización de los Estados Americanos, 2011. p. 34. [Consulta: 08 noviembre 2021]. Disponible en: https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf.

DEMESTRE, A.; et al. “Copper Speciation and Microbial Activity in Long-Term Contaminated Soils”. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* [En línea], 1999, (Estados Unidos) 36(1), pp. 124-131. [Consulta: 05 abril 2022]. ISSN: 0090-4341. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/13400059_Copper_Speciation_and_Microbial_Activity_in_Long-Term_Contaminated_Soils/link/0deec516c65f2bb90e000000/download.

DOBERMANN, A.; & FAIRHURST, T. *Manejo del nitrógeno en el arroz* [En línea]. Quito-Ecuador: Instituto de la Potasa y el Fósforo, 2005. p. 1. [Consulta: 15 noviembre 2021]. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/F3F3E0A8D944DCDC852579A30074445F/\\$FILE/Manejo%20del%20Nitr%C3%B3geno%20en%20Arroz.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/F3F3E0A8D944DCDC852579A30074445F/$FILE/Manejo%20del%20Nitr%C3%B3geno%20en%20Arroz.pdf).

ELAW. *Guía para Evaluar EIAs de Proyectos Mineros. Vista General de la Actividad Minera y sus Impactos* [En línea]. Eugene-Estados Unidos: Environmental Law Alliance Worldwide (ELAW), 2010. pp. 3-7. [Consulta: 10 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.elaw.org/files/mining-eia-guidebook/Capitulo%201.pdf>.

FAO. *Textura del Suelo* [En línea]. Roma-Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2009. [Consulta: 15 noviembre 2021]. Disponible en: https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm.

FERNÁNDEZ, M. “Fósforo: amigo o enemigo”. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar [En línea], 2007, (Cuba) 41(2), pp. 51-57. [Consulta: 05 abril 2022]. ISSN: 0138-6204. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223114970009.pdf>.

FERTILAB. *La Capacidad de Intercambio Catiónico del Suelo* [En línea]. Celaya-México: Fertilab, 2015. p. 2. [Consulta: 04 agosto 2022]. Disponible en: <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/La%20Capacidad%20de%20Intercambio%20Cationico%20del%20Suelo.pdf>.

GADPR BOMBOIZA. *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Bomboiza. Diagnóstico* [En línea]. Bomboiza-Ecuador: Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Bomboiza, 2015. pp. 24-43. [Consulta: 27 noviembre 2021]. Disponible en: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1460014750001_Diagnostico_Bomboiza_PDOT_30-10-2015_18-01-47.pdf.

GEOINNOVA. *Minería a cielo abierto y sus impactos en el medio ambiente* [En línea]. Pamplona-España: Geoinnova, 2016. [Consulta: 03 marzo 2022]. Disponible en: <https://geoinnova.org/blog-territorio/mineria-cielo-abierto-impactos/>.

GÓMEZ, M.; et al. “Optimización de la producción y calidad en cebolla cabezona (*Allium cepa*) mediante el balance nutricional con magnesio y micronutrientes (B, Zn y Mn), Valle Alto del Río Chicamocha, Boyacá”. *Agronomía Colombiana* [En línea], 2007, (Colombia) 25(2), pp. 330-348. [Consulta: 05 abril 2022]. ISSN: 2357-3732. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/262737359_Optimizing_bulb_onion_Allium_cepa_production_and_quality_through_magnesium_and_micronutrient_B_Zn_and_Mn_balanced_nutrition_in_the_Upper_Chicamocha_River_Valley_Boyaca.

HAMMOND, D.; et al. *Gestión del Impacto de la Explotación Minera a Cielo Abierto sobre el Agua Dulce en América Latino* [En línea]. Washington-Estados Unidos: Banco Interamericano de Desarrollo, 2013. p. 8. [Consulta: 10 noviembre 2021]. Disponible en: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Gesti%C3%B3n-del-impacto-de-la-explotaci%C3%B3n-minera-a-cielo-abierto-sobre-el-agua-dulce-en-Am%C3%A9rica-Latina.pdf>.

IDEAM. *Caracterización de los suelos y las tierras* [En línea]. Bogotá-Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2001. p. 64. [Consulta: 13 noviembre 2021]. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/005192/macizo/pdf/Capitulo4.pdf>.

INIAP. *Guía para facilitar el aprendizaje sobre manejo integrado de maíz de altura (Zea mays L.)* [En línea]. Quito-Ecuador: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2020. p. 24. [Consulta: 27 noviembre 2021]. ISBN: 978-9942-38-498-0. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5581/1/iniapscGA009.pdf>.

KHAGESHWAR, S.; et al. “Heavy Metal Contamination of Tree Leaves”. *American Journal of Analytical Chemistry* [En línea], 2015, (Alemania) 6(1), pp. 687-693. [Consulta: 05 abril 2022]. ISSN: 2156-8278. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/7f4f/ba7dcc0bccf053df7f2e4d50f95499b97f1e.pdf>.

LA ROTTA, Á.; & TORRES, M. “Explotación minera y sus impactos ambientales y en salud. El caso de Potosí en Bogotá”. *Saúde Debate* [En línea], 2017, (Brasil) 41(112), pp. 77-91. [Consulta: 09 noviembre 2021]. ISSN: 0103-1104. Disponible en: <https://www.scielo.org/pdf/sdeb/2017.v41n112/77-91>.

LEY DE MINERÍA. *Ley de Minería* [En línea]. Quito-Ecuador: Comisión Legislativa y de Fiscalización, 2011. pp. 1-39. [Consulta: 06 noviembre 2021]. Disponible en: https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_mineria.pdf.

MALAVÉ, A. “Los suelos como fuente de Boro para las plantas”. *Revista UDO Agrícola* [En línea], 2005, (Venezuela) 5(1), pp. 10-26. [Consulta: 05 abril 2022]. ISSN: 1317-9152. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2221579.pdf>.

MALDONADO, Y. *Ventajas y desventajas de la minería en el Ecuador* [En línea]. GeologiaWeb, 2021. [Consulta: 09 noviembre 2021]. Disponible en: <https://geologiaweb.com/mineria/ventajas-desventajas-mineria-ecuador/>

MARÍN, G. *Edafología 1* [En línea]. Caldas-Colombia: Universidad de Caldas, 2011. pp. 65-91. [Consulta: 16 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>.

MINISTERIO DE MINERÍA. *Plan Nacional de Desarrollo del Sector Minero* [En línea]. Quito-Ecuador: Ministerio de Minería, 2016. p. 12. [Consulta: 11 noviembre 2021]. Disponible en: <http://www2.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2021/03/04PPP2016-PLAN.pdf>.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Línea de Base Nacional para la Minería Artesanal y en Pequeña Escala de Oro en Ecuador, Conforme la Convención de Minamata sobre Mercurio* [En línea]. Quito-Ecuador: Ministerio del Ambiente, 2020. pp. 15-63. [Consulta: 08 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/06/NAP-Inventario-de-Mercurio-Ecuador.pdf>.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Proyecto: sistema nacional de control forestal* [En línea]. Quito-Ecuador: Ministerio del Ambiente, 2013. p. 7. [Consultan: 04 marzo 2022]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/07/CONTROL-FORESTAL.pdf>.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. *Plan Nacional de Desarrollo Forestal* [En línea]. Bogotá-Colombia: Ministerio del Medio Ambiente/Programa de Manejo de los Recursos Naturales, 2000. p. 17. [Consulta: 20 noviembre 2021]. ISBN: 9487-12-2. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/002871/PNDFORESTAL.pdf>.

MURCIA, C.; et al. *La restauración de bosques andinos tropicales. Avances, desafíos y perspectivas del futuro* [En línea]. Bogor-Indonesia: Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR), 2017. p. 10. [Consulta: 03 marzo 2022]. ISBN: 978-602-387-005-4. Disponible en: <https://www.bosquesandinos.org/wp-content/uploads/2017/07/CIFOR.pdf>.

NEIDER, R.; et al. “Fixation and defixation of ammonium in soils: a review”. *Biol Fertil Soils* [En línea], 2011, (Alemania) 47(1), pp. 1-14. [Consulta: 01 abril 2022]. ISSN: 1432-0789. Disponible en: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00374-010-0506-4.pdf>.

OCA, A.; & ULLOA, M. “Recuperación de áreas dañadas por la minería en la cantera Los Guaos, Santiago de Cuba, Cuba”. *Luna Azul* [En línea], 2013, (Cuba) 1(37), pp. 74-88. [Consulta: 07 noviembre 2021]. ISSN: 1909-2474. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n37/n37a07.pdf>.

OGUNDELE, L.; et al. “Heavy metals in industrially emitted particulate matter in Ile-Ife, Nigeria”. *Environmental Research* [En línea], 2017, (Nigeria) 156(1), pp. 320-325. [Consulta: 06

noviembre 2021]. ISSN: 0013-9351. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.051>.

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO. *Al crecer la pequeña minería en los países en desarrollo* [En línea]. Ginebra-Suiza: Organización Internacional del Trabajo (OIT), 1999. [Consulta: 06 noviembre 2021]. Disponible en: https://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS_008522/lang--es/index.htm.

OVIEDO, R.; et al. “Contaminación por metales pesados en el sur del Ecuador asociada a la actividad minera”. *Bionatura* [En línea], 2017, (Ecuador) 2(4), pp. 437-441. [Consulta: 09 noviembre 2021]. ISSN: 1390-9355. Disponible en: <https://www.revistabionatura.com/files/2017.02.04.5.pdf>.

PAPUICO, R. Fitorremediación de un suelo contaminado con cadmio, utilizando *Lupinus mutabilis* y estiércol de lombriz. Huancaní, Jauja. 2019 (Tesis) (Ingeniería). [En línea] Universidad Continental, Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental. Huancayo-Perú. 2020. p. 27. [Consulta: 06 noviembre 2021]. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8548/4/IV_FIN_107_TE_Papuico_Manrique_2020.pdf.

PORTA, J.; et al. *Introducción a la edafología: uso y protección del suelo*. Madrid-España: Ediciones Mundi-Prensa, 2008. ISBN: 8484763420. p. 20.

RAMÍREZ, W. *Manejo de Sistemas Agroforestales* [En línea]. Ecuador: Biblioteca Ihatuey. 2005. pp. 2-11. [Consulta: 17 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.yumpu.com/es/document/read/15836701/manejo-de-sistemas-agroforestales-biblioteca-ihatuey>.

RIASCOS, N.; & NOVOA, D. Estudio ambiental del cadmio y su relación con suelos destinados al cultivo de cacao en los departamentos de Arauca y Nariño (Proyecto de grado) (Ingeniería). [En línea] Universidad de La Salle, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Bogotá-Colombia. 2017. p. 13. [Consulta: 05 abril 2022]. Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1717&context=ing_ambiental_sanitaria.

RODRÍGUEZ, E.; et al. *La contaminación del suelo: una realidad oculta* [En línea]. Roma-Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2019.

pp. 3-13. [Consulta: 06 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>.

RUCKS, L.; et al. *Propiedades Físicas del Suelo* [En línea]. Montevideo-Uruguay: Universidad de la República, 2004. pp. 2-5. [Consulta: 13 noviembre 2021]. Disponible en: <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>.

SILVA, S.; & CORREA, F. “Análisis de la normativa del Suelo; Revisión de la Normativa y Posibilidades de Regulación Económica”. *Semestres Económico* [En línea], 2009, (Colombia) 12(23), pp. 13-34. [Consulta: 18 noviembre 2021]. ISSN: 0120-6346. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/seec/v12n23/v12n23a2.pdf>.

SORIANO, M. *pH del Suelo* [En línea]. Valencia-España: Universidad Politécnica de Valencia, 2015. p. 3. [Consulta: 01 abril 2022]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/102382/Soriano%20-%20pHdel%20suelo.pdf?sequence=1>.

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID. *Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible Materia orgánica y actividad biológica* [En línea]. Madrid-España: Universidad Complutense Madrid, 2005, p. 6. [Consulta: 17 noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-104576/1.%20Materia%20org%C3%A1nica%20y%20actividad%20biol%C3%B3gica.pdf>.

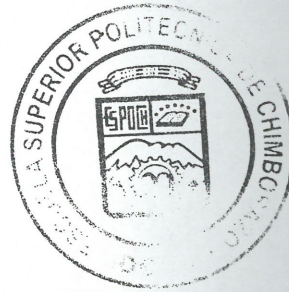
VARGAS, J.; & MANRIQUE, D. “Análisis económico de la minería de carbón y oro 2007-2010 en Colombia”. *Contexto* [En línea], 2015, (Colombia) 1(4), pp. 59-70. [Consulta: 10 noviembre 2021]. ISSN: 2339-3084. Disponible en: <https://1library.co/document/download/yne3e4ly>.

VARGAS, O. “Restauración ecológica: biodiversidad y conservación”. *Acta Biológica Colombiana* [En línea], 2011, (Colombia) 16(2), pp. 221-246. [Consulta: 04 marzo 2022]. ISSN: 0120-548X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3190/319028008017.pdf>.

VÁSCONEZ, M.; & TORRES, L. “Minería en el Ecuador: sostenibilidad y licitud”. *La Estudios del Desarrollo Social* [En línea], 2018, (Cuba) 6 (2), pp. 83-103. [Consulta: 08 noviembre 2021]. ISSN: 2308-0132. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/reds/v6n2/reds06218.pdf>.

VILELA, W.; et al. “La contaminación ambiental ocasionada por la minería en la provincia de El Oro”. Estudios de la Gestión [En línea], 2020, (Ecuador) 1(8), pp. 215-233. [Consulta: 06 noviembre 2021]. ISSN: 2550-6641. Disponible en: <https://revistas.uasb.edu.ec/index.php/eg/article/download/2437/2228/>.

 **D.ERAI.**
[Handwritten signature]
Ing. *[Handwritten name]* Castillo



ANEXOS

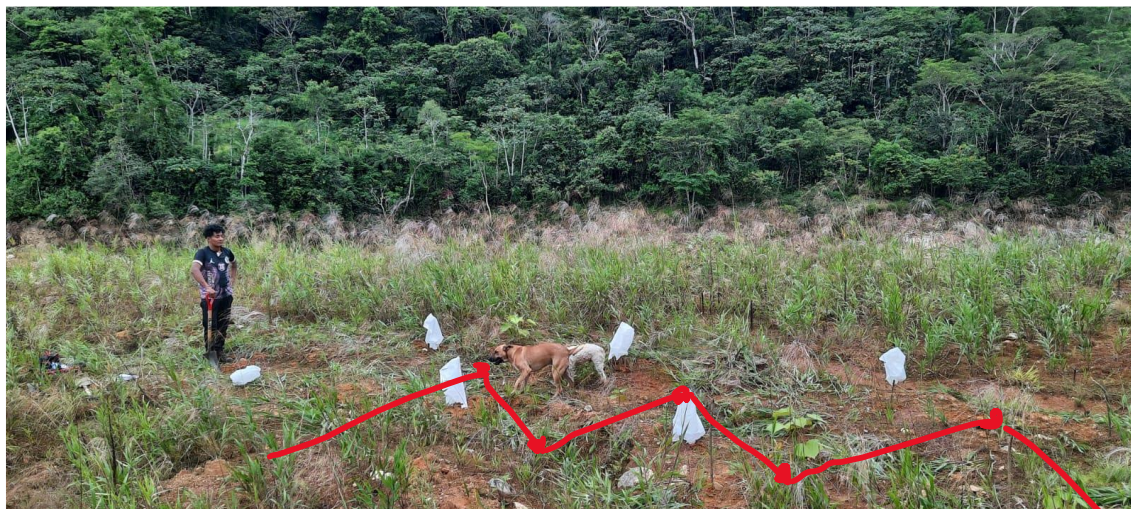
ANEXO A: RECONOCIMIENTO E IDENTIFICACIÓN DEL LUGAR DE LA PEQUEÑA MINERÍA EN LA FINCA SURITIAK



ANEXO B: TOMA DE DATOS Y PUNTOS CON EL EQUIPO DE TRABAJO GPS



ANEXO C: PREPARACION DEL TERRENO EN ZIGZAG SEGÚN LA NORMA DEL INIAP PARA LA RECOLECCION DE LAS MUESTRAS



ANEXO D: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO DE LA ZONA A



ANEXO E: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO DE LA ZONA B



ANEXO F: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO DE LA ZONA C



ANEXO G: SUELO CONTAMINADO EN EL AREA DE TRABAJO



ANEXO H: PREPARACION DE LAS MUESTRAS



ANEXO I: MUESTRAS DE SUELOS ENFUNDADAS Y ETIQUETADAS



ANEXO J: ENVIO Y RECEPCION DE MUESTRAS AL INIAP



R.U.C.: 1260007660001

FACTURA

No. 001-001-000009308

NÚMERO DE AUTORIZACIÓN

1801202201126000766000120010010000093081234567813

FECHA Y HORA DE AUTORIZACIÓN

18/01/2022 14:11:26.000

AMBIENTE: PRODUCCION

EMISIÓN: NORMAL

CLAVE DE ACCESO



1801202201126000766000120010010000093081234567813

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

ESTACION EXPERIMENTAL TROPICALPICHINQUE

Dirección: VIA EL EMPALME KM 5 Y PRINCIPAL SIN TELÉF. 05783044

Matriz:

Dirección

Sucursal:

Contribuyente Especial No. 6077

OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD SI

Razón Social / Nombre y Apellido:	PETSAIN UTILIAJ GUILLERMO	Identificación:	1900587666
Fecha de Emisión:	18/01/2022	Código Remisión:	
Dirección:	MORONA SANTIAGO / MACAS		

Cod. Principal	Cod. Auxiliar	Cant.	Descripción	Detalle Adicional	Detalle Adicional	Detalle Adicional	Precio Unitario	Subsidio	Precio Sin Subsidio	Descuento	Precio Total
12.18	451.17	3	SUELO 4	pH+P+K+Ca+Mg	+S+Fe+Cu+Mn+Zn+S	+Somas+M.O+Textura	30,00	0,00	0,00	0	78,27
12.18	50.17	3	CIC (CAPACIDAD DE				30,00	0,00	0,00	0	90,00
12.18	176.17	6	METALES PESADOS / CO	SUELOS			20,54	0,00	0,00	0	123,24

Información Adicional


Dirección: MORONA SANTIAGO / MACAS
Teléfono: 0994362843
Email: guillermo.petsain@esPOCH.edu.ec
Proforma: DMSA N° 4366

SUBTOTAL 12%	281,07
SUBTOTAL IVA 0%	0,00
SUBTOTAL NO OBLIGADO IVA	0,00
SUBTOTAL EGRENTO IVA	0,00
SUBTOTAL SIN IMPUESTOS	281,07
DESCUENTO	0,00
ICI	0,00
IVA 12%	34,99
IMPORTE	0,00
PROPINA	0,00
VALOR TOTAL	316,06

Forma de Pago	Valor
OTROS CON UTILIZACIÓN DEL SISTEMA FINANCIERO	316,06

VALOR TOTAL SIN SUBSIDIO	0,00
AHORRO POR SUBSIDIO: (Incluye IVA cuando corresponda)	0,00

ANEXO K: RESULTADO DE LOS ANÁLISIS DE LOS SUELOS




ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE"
LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS
 Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme; Apartado 24
 Quevedo - Ecuador Teléf: 052 783044 suelos.eetp@iniap.gob.ec


REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD		PARA USO DEL LABORATORIO	
Nombre :	PETSAIN UTTITIAJ GUILLERMO	Nombre :	Finca Suritiak	Cultivo Actual :	
Dirección :	MORONA SANTIAGO / MACAS	Provincia :	Morona Santiago	N° Reporte :	9308
Ciudad :	MACAS	Cantón :	Macas	Fecha de Muestreo :	12/01/2022
Teléfono :	0994362843	Parroquia :	Gualaquiza	Fecha de Ingreso :	19/01/2022
Fax :		Ubicación :		Fecha de Salida :	07/02/2022

N° Muest.	Datos del Lote		pH	ppm		meq/100ml			ppm					
	Laborat.	Identificación		Area	NH4	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn
105569	Zona A		5,3 Ac RC	4 B	5 B	0,21 M	5 M	3,0 A	4 B	1,6 B	4,4 A	47 A	16,6 A	0,77 M
105570	Zona B		5,8 MeAc	5 B	5 B	0,12 B	7 M	4,7 A	6 B	1,3 B	2,8 M	33 M	13,6 M	0,80 M
105571	Zona C		4,9 MeAc RC	81 A	55 A	0,15 B	5 M	2,2 A	4 B	3,1 M	10,4 A	123 A	43,9 A	0,69 M

INTERPRETACION					METODOLOGIA USADA		EXTRACTANTES		
pH					Elementos: de N a B		pH	= Suelo: agua (1:2,5)	Olsen Modificado
MAc = Muy Acido	LAc = Liger. Acido	LAAl = Lige. Alcalino	RC = Requiere Cal	B = Bajo	N,P,B	= Colorimetría	N,P,K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn		
Ac = Acido	PN = Prac. Neutro	MeAl = Media. Alcalino		M = Medio	S	= Turbidimetría	Fosfato de Calcio Monobásico		
MeAc = Media. Acido	N = Neutro	Al = Alcalino		A = Alto	K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn	= Absorcion atómica	B,S		


 RESPONSABLE DPTO. SUELOS Y AGUAS


 RESPONSABLE LABORATORIO



ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE"
LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS
 Km. 5 Carretera Quevedo - El Empalme, Apartado 24
 Quevedo - Ecuador Teléf: 052 783044 suelos.eetp@iniap.gob.ec

REPORTE DE ANALISIS DE SUELOS

DATOS DEL PROPIETARIO
Nombre : PETSAIN UTITIAJ GUILLERMO
Dirección : MORONA SANTIAGO / MACAS
Ciudad : MACAS
Teléfono : 0994362843
Fax :

DATOS DE LA PROPIEDAD
Nombre : Finca Suritiak
Provincia : Morona Santiago
Cantón : Macas
Parroquia : Gualaquiza
Ubicación :

PARA USO DEL LABORATORIO
Cultivo Actual :
N° de Reporte : 9308
Fecha de Muestreo : 12/01/2022
Fecha de Ingreso : 19/01/2022
Fecha de Salida : 07/02/2022

N° Muest.	meq/100ml			dS/m	C.E.		Ca	Mg	Ca+Mg	meq/100ml	meq/100g	ppm	Textura (%)			Clase Textural
	Al+H	Al	Na		M.O.	Mg							K	K	Σ Bases	
105569						B	1,6	14,29	38,10	8,21	11,59		49	34	17	Franco
105570						B	1,4	39,17	97,50	11,82	16,88		47	50	3	Franco-Limoso
105571						B	2,2	14,67	48,00	7,35	11,01		39	34	27	Franco

INTERPRETACION							
Al+H, Al y Na		C.E.		M.O. y Cl			
B	= Bajo	NS	= No Salino	S	= Salino	B	= Bajo
M	= Medio	LS	= Lig. Salino	MS	= Muy Salino	M	= Medio
T	= Tóxico					A	= Alto

ABREVIATURAS
C.E. = Conductividad Eléctrica
M.O. = Materia Orgánica
RAS = Relación de Adsorción de Sodio

METODOLOGIA USADA
C.E. = Conductímetro
M.O. = Titulación de Walkley Black
Al+H = Titulación con NaOH

R. W. [Signature]
RESPONSABLE DPTO. SUELOS Y AGUA

[Signature]
RESPONSABLE LABORATORIO

Envío correo 04-02-2022



ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE"
LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS
Km 5 Carretera Quevedo - El Empalme; Apartado 24
Quevedo - Ecuador Teléfonos: 783044 783128 Ext. 201

Nombre del Propietario :	PETSAIN UTITIAJ GUILLERMO	Telef :	0994362843	Reporte N° :	9308
Nombre de la Propiedad :	Finca Suritiak	Cultivo :		Fecha de muestreo :	12/01/2022
Localización :	Gualaquiza	Macas	Morona Santiago	Fecha de ingreso:	19/01/2022
	Parroquia	Cantón	Provincia	Fecha salida resultados:	04/02/2022

RESULTADO E INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS DE CADMIO Y PLOMO SEMITOTAL EN SUELO

Número de Laboratorio	Identificación de las Muestras	Cd	Pb
		mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
945	Zona A	0.21	37.2
946	Zona B	0.29	37.4
947	Zona C	0.20	37.4

Instrumento de análisis: EAA-HGA (Espectrómetro de absorción atómica acoplado a Horno de Grafito)
Método de extracción en suelo (semitotal): Agua regia (HNO ₃ -HCl) relación 3:1
Límite de detección (LD): 1.01 ug L ⁻¹ Cd, 0.38 mg L ⁻¹ Pb
Límite de cuantificación (LC): 1.64 ug L ⁻¹ Cd, 0.68 mg L ⁻¹ Pb
Nivel crítico en suelos agrícola: (Cd) 2 mg kg ⁻¹ , (Pb) 35 mg kg ⁻¹ (TULA, acuerdo Nro. 061, Año II- N.-316, mayo de 2015)

RESPONSABLE DPTO.



LABORATORISTA

La muestra será guardada en el Laboratorio por tres meses. Transcurridos los resultados serán reclamados en los resultados.



esPOCH

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

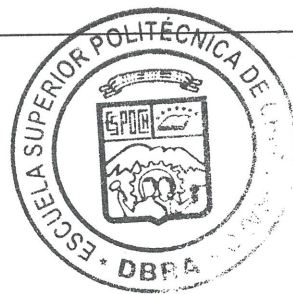
**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 08 / 11 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: GUILLERMO PETSAIN UTITIAJ
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: RECURSOS NATURALES
Carrera: INGENIERÍA FORESTAL
Título a optar: INGENIERO FORESTAL
f. responsable: Ing. Cristhian Fernando Castillo Ruiz


Ing. Cristhian Castillo



2068-DBRA-UTP-2022