



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CUENCA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,  
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**EFEECTO DEL BOKASHI EN SUELOS CONTAMINADOS  
PROVENIENTES DE ACTIVIDADES MINERAS  
AURÍFERAS, DEL SECTOR CALUGURO DEL CANTÓN  
SANTA ROSA PROVINCIA DE EL ORO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

**AUTORA: YULI DEL CISNE HUANCA ROBLES**

**DIRECTOR: ING. MANUEL SALVADOR ALVAREZ VERA PhD.**

**CUENCA – ECUADOR**

**2023**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,  
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**EFFECTO DEL BOKASHI EN SUELOS CONTAMINADOS  
PROVENIENTES DE ACTIVIDADES MINERAS AURÍFERAS,  
DEL SECTOR CALUGURO CANTÓN SANTA ROSA PROVINCIA  
DE EL ORO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

**AUTOR: YULI DEL CISNE HUANCA ROBLES**

**DIRECTOR: ING. MANUEL SALVADOR ALVAREZ VERA PhD.**

**CUENCA - ECUADOR**

**2023**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

### Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Yuli del Cisne Huanca Robles portadora de la cédula de ciudadanía N°0750196065. Declaro ser el autor de la obra: “Efecto del bokashi en suelos contaminados provenientes de actividades mineras auríferas del sector Caluguro cantón Santa Rosa provincia de El Oro”, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 25 de enero de 2022

F:  .....

Yuli del Cisne Huanca Robles

0750196065

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Yuli del Cisne Huanca Robles bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Manuel Salvador Alvarez Vera', written over a horizontal line.

Ing/ Manuel Salvador Alvarez Vera PhD.

**DIRECTOR**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación es dedicado con todo mi amor al principal motor de mi vida que guía mis pasos, me protege y siempre me da fuerzas para continuar Dios.

Una dedicatoria especial a la persona que se merece todo y es mi más grande inspiración mi madre Carmen Robles gracias a sus enseñanzas y valores me ayudaron a sobresalir y nunca rendirme, además de invertir su tiempo y su economía en mi formación profesional.

A mis hermanos, Andrés y Miguel por su paciencia y buen consejo a lo largo de toda esta trayectoria académica.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero Agradecer a mi familia en especial a mi madre Carmen Robles por su apoyo en esta etapa.

A mi tutor de tesis el Ingeniero Manuel Alvarez por ser una guía en mi trabajo investigativo. Al Dr. Vinicio Santillan por sus consejos y aportaciones en mi trabajo de titulación.

Por último, a todos mis amigos que hicieron que mi vida universitaria sea muy amena y especial llenándola de muchos recuerdos que jamás olvidare, su apoyo y hospitalidad nunca me faltaron, los quiero mucho.

## RESUMEN

Se evaluó el efecto del bokashi con microorganismos benéficos y la rizosfera de la planta de maíz en la remediación de suelos contaminados con metales pesados resultantes de la actividad minera aurífera desarrollada en el sector Caluguro, cantón Santa Rosa, provincia El Oro. Inicialmente, se caracterizó el suelo mediante parámetros físicos, químicos y biológicos, en laboratorio; las pruebas se aplicaron mediante dos tratamientos, con bokashi (TB) 20% y bokashi (TMB) 10% y el testigo. El resultado de mayor remoción obtenido en el suelo se presentó con bokashi al 20%, consiguiendo en arsénico un 21,5%, plomo 15,2%, níquel 25,6%, mercurio 24,3% y cianuro 31%, en tanto que el cadmio con el tratamiento de bokashi al 10% removió el 22,5 %, siendo para este caso el mejor. En cuanto a la germinación de las semillas, ambos tratamientos alcanzaron el 100%, mientras que la del testigo fue del 44,4%; las medidas de la raíz con el tratamiento al 20%, registraron un crecimiento radicular alto, en cambio, la dosis al 10% presentó una superioridad en el desarrollo del tallo. El análisis estadístico mediante el ANOVA y la Prueba de Tukey presentaron diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo, por lo que, el bokashi puede resultar fundamental para la eliminación de los contaminantes en el suelo y para el desarrollo de la planta.

*Palabras clave: Caluguro, minería, bokashi, dosis y rizosfera.*

## **ABSTRACT**

This

*Keywords:*

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
RESUMEN.....	V
ABSTRACT.....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE TABLAS.....	XIII
LISTA DE ANEXOS.....	XIV
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos.....	2
1.1.1. Objetivo general.....	2
1.1.2. Objetivos específicos.....	2
CAPÍTULO II.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Minería.....	3
2.1.1. Minería aurífera.....	3
2.2. Impactos de la minería.....	3
2.2.1. Impactos de la minería aurífera en el suelo.....	3
2.2.2. Impactos de la minería aurífera en el agua.....	4
2.2.3. Impactos de la minería aurífera en la salud humana.....	5
2.3. Tipos de contaminación.....	6
2.4. Contaminación ambiental por metales pesados.....	6
2.4.1. Contaminación por mercurio.....	6
2.4.2. Contaminación por plomo.....	7
2.4.3. Contaminación por cadmio.....	8
2.4.4. Contaminación por níquel.....	8
2.4.5. Contaminación por arsénico.....	8
2.4.6. Contaminación por cianuro.....	9
2.5. El suelo.....	9
2.5.1. Importancia del suelo.....	10
2.5.2. Características físicas del suelo.....	10
2.5.3. Características químicas del suelo.....	12
2.5.4. Características biológicas del suelo.....	14
2.6. Procesos de biorremediación para suelos contaminados.....	15

2.6.1.	Técnicas de procesos de biorremediación .....	17
2.7.	Residuos orgánicos.....	18
2.8.	Microorganismos.....	18
2.8.1.	Importancia de los microorganismos.....	18
2.8.2.	Microorganismos benéficos.....	19
2.9.	Bokashi .....	19
2.9.1.	Origen del bokashi .....	20
2.9.2.	Microorganismos en el proceso de bokashi.....	20
2.9.3.	Bokashi como alternativa para la biorremediación de suelos .....	20
2.10.	Planta de maíz.....	20
2.11.	Germinación de plantas de maíz .....	21
2.11.1.	Germinación y emergencia (VE) .....	22
2.11.2.	Etapas V1 .....	23
2.11.3.	Etapas V3.....	24
2.12.	Análisis Legal del Ecuador.....	24
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>.....</b>	<b>26</b>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>.....</b>	<b>26</b>
3.1.	Zona de estudio .....	26
3.2.	Materiales e insumos .....	27
3.2.1.	Materiales .....	27
3.2.2.	Insumos .....	28
3.2.3.	Implementos de protección .....	29
3.3.	Recolección de muestra de suelo .....	29
3.4.	Caracterización física, química y biológica.....	29
3.5.	Solución con microorganismos benéficos.....	30
3.6.	Desarrollo metodológico para elaboración de bokashi con microorganismos benéficos .....	30
3.6.1.	Elaboración de polvo bokashi .....	30
3.6.2.	Recolección de residuos orgánicos.....	31
3.6.3.	Registro de participante en el estudio .....	31
3.6.4.	Recolección de materia orgánica .....	32
3.6.5.	Pesaje de la materia orgánica.....	33
3.6.6.	Mezcla del bokashi con los residuos orgánicos.....	33
3.7.	Diseño experimental .....	34
3.7.1.	Manejo de los tratamientos .....	36
3.8.	Siembra de planta de maíz en su primera fase de desarrollo .....	37
3.8.1.	Número de semillas en repeticiones por tratamientos .....	37
3.9.	Porcentaje de germinación de la semilla .....	38

3.10.	Evaluación de las partes de la planta de maíz .....	38
3.10.1.	Extracción y lavado de raíces de maíz .....	38
3.10.2.	Medición de la longitud de raíz .....	39
3.10.3.	Peso de la raíz .....	39
3.10.4.	Medición de longitud del tallo .....	41
3.10.5.	Peso del tallo .....	41
3.11.	Análisis de laboratorio de las muestras del suelo de los tratamientos....	42
3.12.	Análisis estadístico de la evaluación de la planta de maíz .....	43
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>.....</b>	<b>44</b>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>.....</b>	<b>44</b>
4.1.	Características físicas, químicas y biológicas del suelo de Caluguro .....	44
4.2.	Efecto del bokashi en el suelo contaminado.....	45
4.2.1.	Textura del suelo.....	46
4.2.2.	Potencial de hidrógeno (pH).....	47
4.2.3.	Conductividad eléctrica .....	48
4.2.4.	Concentración de Arsénico .....	48
4.2.5.	Concentración de Plomo .....	49
4.2.6.	Concentración de Cadmio.....	50
4.2.7.	Concentración de Níquel.....	51
4.2.8.	Concentración de Mercurio .....	52
4.2.9.	Concentración de Cianuro.....	53
4.2.10.	Carga microbiana.....	55
4.3.	Evaluación del crecimiento de las plantas de maíz al suelo remediado mediante la rizosfera de maíz utilizando bokashi .....	57
4.3.1.	Porcentaje de germinación.....	57
4.3.2.	Longitud de la raíz.....	58
4.3.3.	Altura del tallo .....	60
4.3.4.	Peso húmedo de la raíz .....	62
4.3.5.	Peso seco de la raíz.....	64
4.3.6.	Peso húmedo del tallo.....	65
4.3.7.	Peso seco del tallo .....	67
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>.....</b>	<b>70</b>
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>.....</b>	<b>70</b>
<b>CAPÍTULO VI</b>	<b>.....</b>	<b>71</b>
<b>6. RECOMENDACIONES</b>	<b>.....</b>	<b>71</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>.....</b>	<b>72</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>.....</b>	<b>84</b>



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Pirámide de las diferentes texturas del suelo .....	11
<b>Figura 2:</b> Representación de los tamaños de partículas que conforman el suelo. ....	12
<b>Figura 3:</b> Diversidad biológica de microorganismos a) bacterias, b) actinomicetos, c) flagelos. ....	15
<b>Figura 4:</b> Interacción entre planta-microorganismos.....	21
<b>Figura 5:</b> Partes de la germinación de la planta de maíz.....	22
<b>Figura 6:</b> Plántula de maíz emergida .....	23
<b>Figura 7:</b> Desarrollo de la plántula de maíz desde la germinación. ....	23
<b>Figura 8:</b> Etapas fenológicas de la fase vegetativa del maíz. ....	24
<b>Figura 9:</b> Ubicación del lugar de estudio del sector Caluguro.....	26
<b>Figura 10:</b> Ubicación de concesiones mineras en la zona de estudio.....	27
<b>Figura 11:</b> Punto de referencia para obtener la línea base del suelo.....	29
<b>Figura 12:</b> Recolección de la línea base del suelo. ....	29
<b>Figura 13:</b> Aspecto final de la solución microbiana activada. ....	30
<b>Figura 14:</b> a) solución líquida y b) prueba del puño.....	31
<b>Figura 15:</b> Registro de participantes en el estudio. ....	32
<b>Figura 16:</b> Recolección de materia orgánica familia #1. ....	32
<b>Figura 17:</b> Recolección de materia orgánica familia #2. ....	32
<b>Figura 18:</b> Recolección de baldes de materia orgánica de las diferentes familias. ....	32
<b>Figura 19:</b> Balanza para pesar materia orgánica 15kg. ....	33
<b>Figura 20:</b> a) trituración de la materia orgánica y b) materia orgánica y polvo bokashi por capas.....	33
<b>Figura 21:</b> Orden de ubicación de las unidades experimentales. ....	34
<b>Figura 22:</b> a) cajas de cooler con peso de 4 lb de suelo y b) cajas con implementación de las dosis exactas de bokashi.....	35
<b>Figura 23:</b> Ubicación de las unidades experimentales. ....	36
<b>Figura 24:</b> Riego con solución líquida a los dos tratamientos.....	36
<b>Figura 25:</b> a) semillas de maíz híbrida y b) ubicación de la siembra de las semillas de maíz.....	37
<b>Figura 26:</b> Esquema de siembra de maíz híbrido.....	38
<b>Figura 27:</b> a) remojo y lavado de la raíz y b) raíz extraída de la planta de maíz.....	39
<b>Figura 28:</b> Longitud de la raíz de la planta. ....	39
<b>Figura 29:</b> Peso húmedo de la raíz. ....	40
<b>Figura 30:</b> Peso seco de la raíz. ....	40
<b>Figura 31:</b> Medida de la longitud del tallo.....	41
<b>Figura 32:</b> Peso húmedo del tallo.....	41
<b>Figura 33:</b> Peso seco del tallo.....	42
<b>Figura 34:</b> Muestras finales de los dos tratamientos y testigo. ....	42
<b>Figura 35:</b> Variación de la concentración del pH, tratamientos y testigos con respecto al Acuerdo Ministerial 097-A. ....	47
<b>Figura 36:</b> Concentración de la C.E en la parte inicial, tratamientos y testigos con respecto al Acuerdo Ministerial 097-A.....	48
<b>Figura 37:</b> Resultado del As en la parte inicial, tratamientos y testigo con respecto al Acuerdo Ministerial 097-A.....	49
<b>Figura 38:</b> Resultado de la concentración de Pb en la parte inicial, tratamientos y testigo con respecto al Acuerdo Ministerial 097-A.....	50
<b>Figura 39:</b> Resultado de la concentración de Cd en la parte inicial, tratamientos y testigo con respecto al Acuerdo Ministerial 097-A.....	51

<b>Figura 40:</b> Resultado de la concentración de Ni en la parte inicial, tratamientos y testigo con respecto al Acuerdo Ministerial 097-A.....	52
<b>Figura 41:</b> Resultado de la concentración de Hg en la parte inicial, tratamientos y testigo con respecto al Acuerdo Ministerial 097-A.....	53
<b>Figura 42:</b> Resultado de la concentración de CN en la parte inicial, tratamientos y testigo con respecto al Acuerdo Ministerial 097-A.....	54
<b>Figura 43:</b> Radar plots general de la línea base (LBS), tratamientos (TMB y TB) y el testigo (TM) en relación al Acuerdo Ministerial 097-A. ....	55
<b>Figura 44:</b> Análisis microbiano de la línea base, tratamientos y el testigo del suelo...	57
<b>Figura 45:</b> Distribución de la longitud de raíz de planta de maíz en centímetros. ....	59
<b>Figura 46:</b> Comparación de la altura del tallo en centímetros de los tratamientos y testigo.....	61
<b>Figura 47:</b> Comparación de los tratamientos del peso húmedo de la raíz en gramos, con dispersión de datos en el TB.....	63
<b>Figura 48:</b> Peso seco de la raíz en gramos, donde TB y TMB presentan medias similares. ....	64
<b>Figura 49:</b> Comparación de los tratamientos y testigo del peso húmedo del tallo en gramos, donde TB presenta datos atípicos.....	66
<b>Figura 50:</b> Diagrama de cajas del peso seco del tallo en gramos.....	68

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Diez principales servicios ecosistémicos que proveen los microorganismos.	19
<b>Tabla 2:</b> Partes y función de la plántula.	22
<b>Tabla 3:</b> Metales pesados encontrados en la LBS.	30
<b>Tabla 4:</b> Representación de las dosis de los tratamientos.	34
<b>Tabla 5:</b> Representación de las unidades de tratamientos.	37
<b>Tabla 6:</b> Resultado de la caracterización física, química y biológica de la calidad inicial del suelo.	44
<b>Tabla 7:</b> Textura del suelo.	46
<b>Tabla 8:</b> Variación poblacional bacteriológico de la muestra del suelo.	56
<b>Tabla 9:</b> Parámetros estadísticos de la longitud de raíz.	58
<b>Tabla 10:</b> Anova de la longitud de la raíz.	59
<b>Tabla 11:</b> Prueba Tukey de la longitud de la raíz.	60
<b>Tabla 12:</b> Parámetros estadísticos de la altura del tallo.	60
<b>Tabla 13:</b> Anova de la altura del tallo.	61
<b>Tabla 14:</b> Prueba Tukey de la altura del tallo.	62
<b>Tabla 15:</b> Parámetros estadísticos del peso húmedo de la raíz.	62
<b>Tabla 16:</b> Anova del peso húmedo de la raíz.	63
<b>Tabla 17:</b> Prueba Tukey del peso húmedo de la raíz.	63
<b>Tabla 18:</b> Parámetros estadísticos del peso seco de la raíz.	64
<b>Tabla 19:</b> Anova del peso seco de la raíz.	65
<b>Tabla 20:</b> Prueba Tukey del peso seco de la raíz.	65
<b>Tabla 21:</b> Parámetros estadísticos del peso húmedo del tallo.	66
<b>Tabla 22:</b> Anova del peso húmedo del tallo.	67
<b>Tabla 23:</b> Prueba Tukey del peso húmedo del tallo.	67
<b>Tabla 24:</b> Parámetros estadísticos del peso seco del tallo.	67
<b>Tabla 25:</b> Anova del peso seco del tallo.	68
<b>Tabla 26:</b> Prueba Tukey del peso seco del tallo.	69

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Evidencias fotográficas durante la elaboración del trabajo de estudio.....	84
<b>Anexo 2:</b> Fotografías de los manejos de los tratamientos. ....	85
<b>Anexo 3:</b> Análisis inicial del suelo de las características físicas .....	86
<b>Anexo 4:</b> Análisis inicial de las características químicas del suelo. ....	87
<b>Anexo 5:</b> Análisis inicial de las características biológicas del suelo.....	88
<b>Anexo 6:</b> Análisis inicial de los metales presentes en la muestra de suelo.....	89
<b>Anexo 7:</b> Análisis de las características físicas del suelo de dos tratamientos y el testigo. .....	90
<b>Anexo 8:</b> Análisis de las características químicas de dos tratamientos y el testigo. ....	91
<b>Anexo 9:</b> Análisis de las características biológicas de dos tratamientos y testigo .....	92
<b>Anexo 10:</b> Análisis de metales pesados de los dos tratamientos y testigo. ....	93
<b>Anexo 11:</b> Criterios de remediación del suelo (valores máximos permisibles).....	94

## CAPÍTULO I

### 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del suelo es un tema ambiental de gran importancia que debe conocer la sociedad. La caracterización, evaluación y remediación de un suelo contaminado es uno de los fundamentales retos ambientales en la actualidad considerando la peligrosidad de los contaminantes en los suelos que viene dada no sólo por su concentración total, sino especialmente por la disponibilidad de los metales desde los suelos a las plantas, otros organismos y el riesgo para la salud que siguen siendo cuestiones por resolver (Galán & Romero, 2008).

La actividad minera en el Ecuador ha ocasionado graves impactos ambientales comprometiendo la diversidad ecosistémica y alterando la biota, lo que ha implicado presión sobre los recursos naturales (Sandoval, 2001).

La minería es una actividad que ha crecido exponencialmente en el sur del Ecuador, y constituye una de las principales fuentes de contaminación por metales pesados. Entre los elementos nocivos, encontramos: cianuro, mercurio, plomo, cadmio, arsénico, etc. La mayoría de estos residuos son vertidos directa o indirectamente en sistemas hídricos lo que ha provocado la contaminación de los recursos naturales y la pérdida de especies (flora y fauna) en la trayectoria de los cauces hídricos. (Bravo, 2020).

El bokashi se considera como una fuente alterna de nutrientes ya que estimula la actividad microbiana que puede lograr una disminución en la concentración de contaminantes. La aplicación de esta práctica puede resultar beneficioso para el medio ambiente y ser un aporte positivo para minimizar, en parte, la alta concentración de contaminantes presentes en el suelo (Martínez Prado et al., 2011).

Según Llivichuzca, (2016), la evaluación y biorremediación del suelo contaminado es de importancia para minimizar y reducir los contaminantes presentes en el mismo, el bokashi es una opción amigable con el medio ambiente, su efecto de remediación es eficaz y es elaborado a base de materia orgánica y microorganismos.

Greenlee et al., (2009) afirma que al aplicar bokashi en matrices contaminadas, podrían ayudar a solucionar o ser una alternativa con resultados positivos en estos medios receptores en donde se fijan y acumulan contaminantes. Por tal motivo, esta investigación plantea evaluar el efecto del bokashi y la acción de rizosfera de la planta maíz en muestras tomadas de un suelo contaminado de la ribera del río Caluguro del cantón Santa Rosa, causado por las mineras que no cuentan con permisos ambientales.

Bajo la problemática descrita se desarrolla este estudio, por medio de la elaboración de enmiendas orgánicas (compost bokashi), que se adapta a los recursos y las situaciones de la zona (Marin, 2019).

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general**

Evaluar el efecto del bokashi en el suelo contaminado provenientes de actividades mineras auríferas con la utilización de la rizosfera de maíz en el sector Caluguro, cantón Santa Rosa, provincia El Oro.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Identificar las características iniciales físicas, químicas y biológicas del suelo, en el sector Caluguro, cantón Santa Rosa, provincia El Oro mediante análisis de laboratorio.
- Analizar el efecto de dos dosis de compost bokashi con microorganismos benéficos utilizando la rizosfera de maíz sobre el suelo del sector Caluguro, cantón Santa Rosa, provincia El Oro mediante análisis de laboratorio.
- Evaluar los niveles de contaminación del suelo y el crecimiento de las plantas de maíz en su primera fase de desarrollo, sembradas en el suelo ya remediado con bokashi.

## **CAPÍTULO II**

### **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **2.1. Minería**

La minería es una acción antrópica económica del sector primario, desarrollada mediante la extracción y explotación de los minerales acumulados en el suelo o subsuelo en forma de yacimientos y el aprovechamiento de minerales que se encuentran en la superficie terrestre, los cuales son beneficiosos para actividades de comercio. Los minerales que se obtienen son: oro, plata, cobre, entre otros, los cuáles poseen un gran valor económico, y en la actualidad constituyen una de las principales actividades con las que se pretende mejorar la economía mundial (Pereyra, 2015).

##### **2.1.1. Minería aurífera**

Es una actividad económica que utiliza procedimientos rudimentarios para extraer el oro (Au) empleando técnicas que requieren el uso del mercurio (Hg), cianuro (CN), elementos perjudiciales para el medio ambiente, seres vivos y la sociedad. Estos se acumulan en el agua y suelo causando daños a los mismos (Quesada, 2017). El mercurio es uno de los elementos metálicos más utilizados en la actividad minera para el proceso de amalgamación del oro, la obtención del metal se realiza por el proceso de refogado, el cual conlleva a un proceso térmico que emite vapores de mercurio a la atmósfera siendo un foco de contaminación para el aire originando problemas al ambiente debido a la pérdida de mercurio (Hg) durante el proceso de separación del oro (Monteagudo, 2001).

#### **2.2. Impactos de la minería**

La minería genera impactos de índole natural y antropogénicos que afectan la salud humana; los sedimentos mineros ocasionan impactos al ecosistema terrestre ocasionando problemas asociados con aguas superficiales, pérdida de la vegetación, del hábitat y tienden a disminuir el pH (Environmental Law Alliance Worldwide., 2007).

##### **2.2.1. Impactos de la minería aurífera en el suelo**

Tras la explotación, los suelos donde se desarrollan actividades mineras, presentan materias residuales que tienden acumularse en estos y pueden ser absorbidas por las raíces de los cultivos, presentando problemas en las características del suelo como la textura, disminución o desequilibrio de los nutrientes y sobre todo la baja capacidad de cambio por la presencia de compuestos tóxicos (Puga et al., 2006).

La extracción del oro, requiere el empleo de productos químicos y grandes cantidades de agua en pozos de extracción, generando una gran cantidad de desechos

tóxicos (López et al., 2009) los que contienen elementos pesados como: mercurio, plomo, arsénico, cadmio, molibdeno, cianuro libre y compuestos fenólicos (Oviedo et al., 2017).

La provincia de El Oro es reconocida como uno de los territorios mineros más importantes del país, como consecuencia de esta actividad, algunas de las poblaciones como Zaruma y Portovelo, presentan daños estructurales complejos que afectan edificaciones por el manejo inadecuado e irresponsable de los mineros y la falta de control por parte de las autoridades competentes las cuales determinan el uso de la superficie del suelo y las actividades factibles a ejecutarse (Bravo, 2020).

El informe presentado por Environmental Law Institute Research Report, (2000) señala que las prácticas mineras, tanto a cielo abierto como subterráneas, pueden destruir suelos y vegetación, ocasionando erosión, pérdida del hábitat y otras consecuencias ambientales negativas. Es así como las aguas superficiales y aguas subterráneas pueden ser permanente o temporalmente contaminadas por el mal uso de reactivos químicos en el proceso de extracción de los minerales o por derrames de producto y la falta de control en una inadecuada disposición de residuos, lo que ocasiona riesgos para la comunidad local, la vida silvestre y otros recursos biológicos.

### **2.2.2. Impactos de la minería aurífera en el agua**

La contaminación del agua por minería trae consigo problemas ambientales negativos que afectan a toda forma de vida, algunos cantones como Santa Rosa, Portovelo y Zaruma son ciudades importantes que han sido afectadas por la ingesta del recurso hídrico con descargas de los compuestos tóxicos resultado de la actividad minera que se da en las zonas pobladas, se ha evidenciado residuos de Hg, Pb y CN en el suelo, agua afectando la salud de los pobladores sobre todo en personas que realizan esta actividad (Oviedo et al., 2017).

El plomo (Pb) se ha encontrado en el organismo de peces, matando parte de la fauna presente en el agua encontrándose concentraciones de 0,4 a 1,3 ug/g de Pb. El consumo de peces que provienen de zonas con impacto de mineras representa un riesgo para la comunidad, pues; los contaminantes se acumulan en el organismo perjudicando su metabolismo, existen además otras vías de ingestión de plomo en la por el consumo directo del agua de río y en el uso para riego en las plantaciones (Ortiz & Alama, 2016).

Los principales problemas de contaminación por minería se dan en el recurso hídrico, en las aguas subterráneas debido a relaves, lixiviación, derrames, utilización de

sulfuros metálicos y disolución que causan impacto a largo plazo a la vida acuática, arroyos y ríos (Tarras et al., 2001).

### **2.2.3. Impactos de la minería aurífera en la salud humana**

Actualmente las dinámicas globales obedecen al modelo extractivista como una de las principales actividades económicas, sin embargo, las consecuencias ambientales, sociales y culturales producidas por estas actividades han puesto en evidencia complejos conflictos que afectan las dinámicas poblacionales y que comienzan a ser motivo de preocupación debido a los efectos que vislumbran en las condiciones de vida y salud de las poblaciones cercanas (Burbano, 2016).

La exposición por factores antrópicos como la minería trae problemas de gran magnitud a la salud ocasionando enfermedades relacionadas con la contaminación del de los recursos: suelo, agua, aire, flora y fauna ocasionada por el mal uso de tóxicos, partículas en suspensión, metales, compuestos orgánicos volátiles etc., que tienen repercusión al ser humano generando enfermedades de diferente índole como son dermatitis, enfermedades cancerígenas, enfermedades respiratorias, asma, dolores de cabeza, vómito entre otras (Hesperian, 2011).

#### **a. Enfermedades por contaminación al agua**

El consumo del agua contaminada por actividad minera puede ser el origen de diversas enfermedades. Los recursos hídricos ubicados en zonas de influencia minera especialmente en sectores donde habitan personas con escasos recursos que utilizan este recurso se exponen a enfermedades estomacales, enfermedades a la piel; no obstante, el agua subterránea y el agua de la superficie tienden a estar contaminadas por varios años (Peña & Araya, 2021).

#### **b. Enfermedades por contaminación al suelo**

La contaminación del suelo debido a que los metales pesados desechados por la actividad minera se quedan en el suelo durante mucho tiempo perjudican la salud de las personas, los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse en él suelo, la bioacumulación significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo biológico en un cierto plazo, comparada a la concentración del producto químico en el ambiente. (Puga et al., 2006).

#### **c. Enfermedades por contaminación al aire**

Principalmente se basa en el entorno físico donde tiene lugar el desarrollo de la actividad afectando especialmente a los pulmones y en general al sistema respiratorio

por las emisiones de material particulado, vapores tóxicos que son una amenaza para los mineros y las comunidades aledañas a la mina (Osoreo et al., 2012).

### **2.3. Tipos de contaminación**

Los contaminantes pueden ser físicos, químicos y biológicos, se presentan en el ambiente y alteran el equilibrio de los ecosistemas de manera negativa causando daños a la salud de los seres humanos, al entorno natural, la vida animal y vegetal ocasionando la destrucción total de los ecosistemas, y sobre todo dando origen al cambio climático (Escobar, 2019).

Tipos de contaminación ambiental:

- a) Contaminación natural:** causada por fenómenos naturales como: erupciones volcánicas, incendios forestales, etc.
- b) Contaminación antropogénica:** causada por actividades humanas, entre otras.
  - contaminación de agua (ríos, mares, aguas subterráneas), que afecta plantas animales y al ser humano.
  - contaminación del suelo, producido por contaminantes altamente tóxicos, residuos de elementos químicos y otras sustancias nocivas para la salud.
  - contaminación atmosférica, causada en gran parte por las industrias que expulsan gases nocivos perjudiciales para la salud.

### **2.4. Contaminación ambiental por metales pesados**

La contaminación por metales pesados en concentraciones demasiado altas, constituyen un problema ambiental severo, pues; cada día se incrementa debido a la actividad antrópica especialmente en la minería, cuyo inadecuado manejo como los “jales mineros”, de metales como: mercurio, plomo, cadmio y arsénico, al ser tóxicos, tienen alta incidencia en el suelo, agua y en los organismos (Caiza, 2018).

Para (Covarrubias & Peña, 2017), los metales pesados no solo contaminan el suelo, causan graves problemas ambientales, pues, en muchos casos; son la causa de la degradación y deforestación de la cobertura vegetal, afectan las fuentes hídricas, causan daños directos en el hombre. Afirma que, en la naturaleza ya no existen suelos que estén totalmente libres de los aportes antropogénicos.

#### **2.4.1. Contaminación por mercurio**

El mercurio (Hg) es un metal pesado líquido, posee una densidad de 13,53 g/cm<sup>3</sup>, es utilizado en la industria minera, para la extracción del oro. El uso inadecuado de este metal al ser altamente tóxico, ocasiona daños al ecosistema, cuyos efectos hacia al ambiente son severos; este metal, al acumularse en el agua y el suelo altera el pH de

estos recursos, por otra parte; tiende a presentarse en peces, los cuales, a su vez, pueden ser ingeridos por los seres humanos y pueden ocasionar intoxicación (García et al., 2002).

El mercurio metálico es otra forma de presentarse de manera natural en el medio ambiente, al igual que el cloruro de mercurio y metilmercurio, sulfuro de mercurio y diferentes microorganismos que se encuentran en el suelo poseen este elemento (ATSDR, 1999).

Las actividades antrópicas como la minería contribuyen al uso de compuestos y sustancias tóxicas como el mercurio, que son empleadas para la obtención del oro, los desechos de la minería son sedimentos que se acumulan en el suelo por malas prácticas al momento de manipular este metal causan daños a la población y a los ecosistemas (Cano, 2017).

El mercurio, al ser empleado en la extracción y separación del oro, el cual; que se encuentra en arena y rocas, se adhiere al oro formando una amalgama que facilita la separación de la roca, de la arena u otro material, misma que, al calentarla tiende a evaporarse, quedando solo el oro, los que lo convierte en una vía de exposición grave para los mineros al inhalar el mercurio en forma de vapor durante el proceso de la quema de las amalgamas, causando alteraciones al sistema nervioso, problemas neurológicos y cognitivos de las personas que trabajan en esta actividad (Rocha-Román et al., 2018).

Las zonas mineras son lugares con altas concentraciones de mercurio, y son las principales fuentes de dispersión de este metal en el sistema acuático, en los peces, la flora y la fauna en el suelo (Alcivar, 2013).

#### **2.4.2. Contaminación por plomo**

El plomo (Pb) del latín *plumbum*, presenta un color gris, es maleable y blando, presente en condiciones naturales en la corteza terrestre, su uso conlleva un gran impacto ambiental y por ende enfermedades a la población. Entre las fuentes de contaminación se destaca la actividad minera, donde es utilizado para la extracción de este material, tiende a bioacumularse en los suelos, por ello su concentración se encuentra en animales, plantas y población influyendo mucho en la cadena alimenticia (Moreno et al., 2012).

Algunos estudios realizados, señalan un riesgo de peligrosidad en sedimentos de ríos y suelos al sur de Ecuador causados por la actividad minera, debido a las altas cantidades de plomo y cadmio presentes, y que traen complicaciones de intoxicación,

riesgos cancerígenos para los habitantes de la zona y son un grave peligro para la biodiversidad (UNEP, 2000).

La implementación de metales como plomo, zinc, cadmio, cobre, oro y otros han sido utilizados para sostener la economía de diferentes regiones, sin embargo, la explotación y extracción de los mismos provocan daños permanentes al ambiente debido al mal uso y sobre todo la mala disposición de residuos mineros (Lindsay et al., 2015).

#### **2.4.3. Contaminación por cadmio**

El cadmio se emplea en menor cantidad dentro de la superficie terrestre, no obstante, ha aumentado su acumulación por la actividad industrial, causando graves inconvenientes a los organismos vivos al ser categorizado como peligroso y tóxico para los seres humanos (Rodríguez et al., 2008).

La mitigación o eliminación de los impactos del cadmio en el suelo a consecuencia de las actividades antrópicas emplea distintas técnicas para su remediación, por lo cual; se busca elegir aquellas que sean eficientes y sobre todo económicas para la remoción de este metal de manera que se ayude a la recuperación y remediación de suelos contaminados por cadmio. Una tecnología viable, económica y con una alta capacidad de remoción de metales pesados en suelos y aguas es la biorremediación (Mehran et al., 2015).

#### **2.4.4. Contaminación por níquel**

El níquel (Ni), elemento químico cuyo número atómico es 28, su abundancia en la corteza terrestre se estima en 20 mg/kg (Muñiz Ugarte et al., 2015). El níquel es un metal pesado que se encuentra en las descargas por minería, en industrias de la fundición, refinación de elementos metálicos, entre otras que utilizan este contaminante como materia prima (Alonso-Arena et al., 2019).

Aproximadamente el 65% de níquel es utilizado para la fabricación de acero inoxidable (Rodríguez, 2019).

#### **2.4.5. Contaminación por arsénico**

El arsénico es uno de los metales más tóxicos que se encuentra en el medio ambiente, su prolongación depende de los factores químicos, físicos y biológicos. La contaminación producida por este metal se debe a procesos naturales y antropogénicos debido a su fácil movilización hacia el ambiente convirtiéndose un problema global al depositarse en el suelo y agua, ya que puede causar daños crónicos a la salud (Rangel Montoya et al., 2015). Por ello, es necesario buscar nuevas estrategias para la remoción

de este metaloide, siendo la biorremediación microbiana una alternativa amigable y una solución a este problema, pues; los microorganismos cumplen un rol importante en la especiación del arsénico (Chen et al., 2013)

#### **2.4.6. Contaminación por cianuro**

Este es un compuesto químico utilizado en gran magnitud en sectores metalúrgicos, siendo un contaminante peligroso y tóxico (Guptta et al., 2012; Kebeish et al., 2015). El cianuro es uno de los metales que actualmente son manejados en la actividad minera aurífera, es uno de los principales en fuentes de contaminación (Petrova et al., 2004).

En el mundo existen alrededor de 875 operaciones para la extracción de oro y plata; en las cuales, 460 emplean cianuro. El 90% de plata y oro que se procesa en el mundo utiliza este metal (Smith et al., 2001). Este metal es empleado en la extracción de contaminantes desde el año 1887; en la actualidad, el cianuro es empleado en las minas e industrias, con un menor porcentaje en la minería artesanal. Las operaciones mineras emplean el cianuro en cantidades diluidas de 100 a 500 ppm (Villemur et al., 2015).

Altos niveles de cianuro se han encontrado en los alrededores de las áreas de explotación minera, donde se presentan grandes cantidades de desechos de cianuros que son degradados y expuestos directamente a las fuentes hídricas y sobre todo al suelo, reportando daños en poblaciones y ecosistemas, alcanzando hasta de distancias de 2.000 km del sitio de depositación (Moran, 1998; Gurbuz et al., 2009).

Para ayudar a mitigar los efectos adversos causados por la contaminación con cianuro, se emplean técnicas como: fitorremediación y biorremediación, estas son económicas y sostenibles, la aplicabilidad de microorganismos, mitigan o inmovilizan contaminantes como el cianuro (Chen et al., 2008; Kaksonen et al., 2014).

### **2.5. El suelo**

El suelo del planeta es de suma importancia para el mantenimiento de la biosfera, producción de alimento, y sobre todo; es esencial para la regulación del clima. Sus diversas funciones como sustento de la producción ganadera y agrícola, es importante conservar el suelo para mantener la productividad, producen biomasa que sirve de alimento para los microorganismos, filtran la materia, absorben el agua protegiéndola de la contaminación, siendo el motor de vida de muchos seres vivos (Sanz, 2011).

Burbano (2010) afirma que el suelo es el resultado de una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, podría decirse que es omnipresente y por ello es el escenario ideal para que los seres vivos cumplan con sus fines sociales y biológicos.

El suelo es alterado a causa de las actividades mineras que generan anomalías biogeoquímicas debido a la extracción de la biota, que afectan su calidad, la diversidad y actividad de los organismos, inhibiendo la descomposición de la materia orgánica. La calidad del suelo depende de las características, uso y función de los factores de formación del suelo (Wong, 2003).

### **2.5.1. Importancia del suelo**

La importancia del suelo radica en la alimentación, los bienes y servicios ambientales que nos brinda, y que son esenciales para la sociedad (Hopkins, 2006). Los beneficios que otorga el suelo al desarrollo de la agricultura, silvicultura, ganadería, fuente vital para la alimentación y vida de los seres vivos, siendo este el principal sustento de vida en la tierra. El suelo es un cuerpo natural, presentan gran variación paisajística y es considerado un recurso no renovable por el largo periodo de miles de años que conlleva la restauración y la formación de varios centímetros, La naturaleza tiene para la sociedad un valor fundamental y es de gran importancia, pues, los suelos son vitales para la supervivencia y para el desarrollo económico, las acciones antrópicas degradan los suelos, por lo que es considerado como el mayor problema ambiental y la principal amenaza para el desarrollo sostenible (Cotler et al., 2007).

### **2.5.2. Características físicas del suelo**

Es utilizado como un indicador que refleja el flujo de agua, la estructura, densidad, la capacidad de infiltración y la conductividad, además de ser un indicador de su calidad (Bautista et al., 2007).

#### **a. Color**

Es una de las características físicas más notorias, nos sirve para reconocer y describir los diferentes tipos de suelos, además de establecer el transcurso de los diferentes grupos genéticos. El tono es uno de los atributos más útiles para describir y caracterizar el suelo, depende de sus componentes y varía con los contenidos de humedad. Los estudios edafológicos se pueden realizar de manera más precisa en un laboratorio mediante el espectrofotómetro de reflexión difusa que definen el color como un indicador que orienta a seleccionar decisiones en su manejo (Domínguez Soto et al., 2011).



penetrables por el sistema radicular y difíciles de trabajar (Camacho-Tamayo et al., 2017).



**Figura 2:** Representación de los tamaños de partículas que conforman el suelo.

**Fuente:** (Fertilab, 2010)

### **c. Estructura del suelo**

La estructura del suelo se basa en la forma de como se asocian sus partículas de arena, arcilla y limo para formar agregados, las cuales están conectadas y situadas entre sí definiendo su configuración física, permitiendo en menor o mayor grado el transporte de agua y aire (Jaramillo-Jaramillo, 2002).

### **d. Densidad aparente (Da)**

La densidad aparente determina el estado físico del suelo reflejando el comportamiento dinámico y porosidad de la estructura. Nos ayuda a conocer el grado de dureza del suelo, textura y porosidad (Castillo, 2005). La densidad aparente es definida como la masa del suelo por unidad de volumen, representando el espacio entre lo sólido y lo poroso, además, de evaluar la firmeza del suelo en la elongación de raíces (Rojas & Sáenz, 2012).

### **2.5.3. Características químicas del suelo**

Determina las condiciones que afectan al suelo, plantas, calidad del agua, y sobre todo la capacidad de amortiguamiento del suelo, alimentos para las plantas, microorganismos, cambios en la materia orgánica y capacidad de intercambio de cationes (Bautista et al., 2007).

#### **a. pH**

Una característica química importante del suelo es el potencial de hidrógeno, es una medida de alcalinidad o acidez, indica la concentración de iones de hidrógeno, pH (Alméciga & Muñoz, 2013). El pH es medido mediante la herramienta conocida como potenciómetro o pH-metro, muestra qué tan ácido o alcalino es el suelo, en el cual las radículas y los microorganismos del suelo adquieren sus alimentos, el pH usa una escala de medición cuyo rango es de 0 a 14 basándose en la constante de equilibrio de la separación del agua es 10-14 (Osorio, 2012).

#### **b. Conductividad eléctrica del suelo**

La conductividad eléctrica es definida por la capacidad que tiene para dar paso a la corriente eléctrica sobre un medio que contengan sales inorgánicas en solución, la C.E de un suelo hace referencia a la conductividad eléctrica de su extracto de saturación (Soriano, 2018). La conductividad eléctrica en el extracto de capacidad del equilibrio de campo suele ser mayor o menor a la saturación; esto depende que tan saturado en sales está el interior del suelo, con el transcurso de los años el aumento de saturación de nutrientes en el suelo empieza hacer más rico que el exterior, sin embargo, las unidades de la conductividad eléctrica son representadas por Siemens/cm (Piña, 2010).

#### **c. Materia orgánica**

Es uno de los principales componentes de la fertilidad del suelo, está conformada por diferentes residuos orgánicos provenientes de restos de organismos que en su momento fueron seres vivos como son animales, plantas y otros productos que forman parte del ambiente natural. El aumento y aporte nutricional de la materia orgánica se basa en el porcentaje de materia vegetal, pH y textura del suelo, un adecuado equilibrio de estos componentes favorece la estructura, mejoramiento y aireación y desarrollo del suelo (Andrades & Martínez, 2022).

#### **d. Relación carbono nitrógeno C/N**

La relación C/N es un valor indicativo de la calidad del suelo muestra la tasa de nitrógeno que existe para las plantas, la relación carbono nitrógeno es un parámetro importante en el proceso de nitrificación, en la tierra se encuentran grandes cantidades de carbono, el nitrógeno interviene en diferentes procesos biológicos apoya la síntesis de proteínas para el mejoramiento, crecimiento y desarrollo de plantas y suelo sin embargo los microorganismos y plantas requieren los niveles de carbono/ nitrógeno para un correcto funcionamiento (Gamarra et al., 2018).

### **e. Nitrógeno total**

Es un elemento importante considerado como un macronutriente, además, de ser necesario para las plantas y suelo tiene un alto contenido en proteínas es fuente esencial de sustancias proteicas que nutren el suelo, es por ello que es un componente fundamental para las plantas debido al aporte de aminoácidos, clorofila, enzimas, ácidos nucleicos y vitaminas. El nitrógeno puede oxidarse y pasar a óxidos por acción de descargas eléctricas trasladados por la lluvia para convertirse en ácido nitroso, por otro lado, gran porcentaje de nitrógeno presente en el suelo se debe a los elementos orgánicos presente en el suelo debido a la muerte de los microorganismos (Benimeli et al., 2019).

#### **2.5.4. Características biológicas del suelo**

Mide las cantidades de subproductos o factores que afectan al suelo: nitrógeno, carbono, biomasa microbiana y contaminantes presentes en el mismo que causen daños al suelo (Bautista et al., 2007).

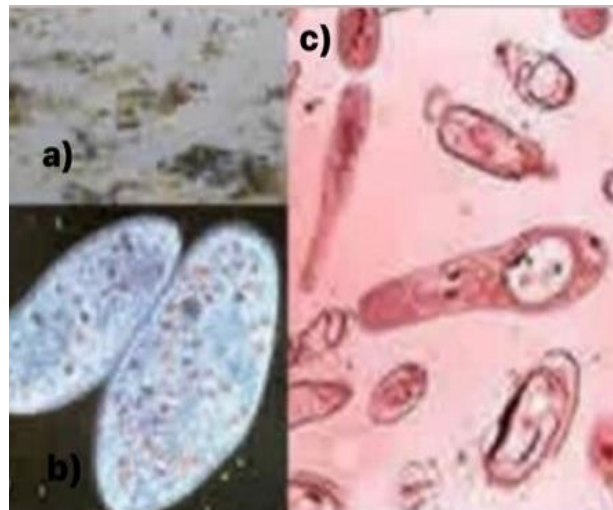
Brissio, (2005); Burbano, (2010) destacan que el suelo es el soporte principal para el ser humano por eso son muchos los sectores económicos que lo utilizan y participan en el deterioro del mismo, reduciendo su funcionalidad; los suelos contienen una gran variedad de formas biológicas, con variedades de tamaños como hongos, virus, algas, bacterias es decir presenta una amplia diversidad biológica que cumplen funciones primordiales como la desintegración de la materia orgánica y convertirla en humus combinando la parte mineral del suelo formando órganos minerales.

Burbano, (2016) afirman que los suelos son parte de los ecosistemas y agroecosistemas que brindan servicios ecosistémicos importantes que sustentan y apoyan la actividad social y económica humana además de prestar servicios como:

- Almacenamiento y filtración de agua
- Almacenamiento o fijación de carbono
- Fijación y captación de carbono
- Soporte de las actividades humanas y fuente de materias primas
- Reserva de la biodiversidad
- Escenario indispensable para los ciclos biogeoquímicos
- Entorno físico y cultural para la humanidad

### a. Composición biológica

Se presenta como un grupo diverso de microorganismos procariotas y unicelulares que se localizan en el ambiente: suelo, agua y aire además, de ser los organismos más pequeños su aporte es de importancia en los suelos, contienen una pared celular que les proporciona protección al encontrarse en diferentes ambientes al igual que dentro de las bacterias se presentan en estos grupos como las bacterias gram negativas y las bacterias gram positivas la mayoría de las bacterias gram positivas tienen una pared celular con varias capas de peptidoglicano la misma que las protege gracias a su estructura gruesa y rígida el cual representa el 90% de la pared celular, por otro lado las bacterias gram negativas tienen menos capas de peptidoglicano pero contienen una membrana externa ubicada en el periplasma la cual es una sustancia gelatinosa localizada en la membrana plasmática y externa (Garcés & Saravia, 2008) (Figura 2).



**Figura 3:** Diversidad biológica de microorganismos a) bacterias, b) actinomicetos, c) flagelos.

**Fuente:** (Cervantes, 2022)

### 2.6. Procesos de biorremediación para suelos contaminados

La palabra biorremediación se emplea para describir variedades de sistemas que ocupan organismos vivos (bacterias, plantas, hongos, etc.) para degradar, transformar o remover compuestos tóxicos a productos metabólicos inocuos o menos tóxicos. Esta táctica biológica depende de las actividades catabólicas de varios organismos y su capacidad de utilizar contaminantes como fuente de energía y alimento (Volke & Velasco, 2002).

Una alternativa son las tecnologías de remediación para la ejecución en los suelos con residuos tóxicos no tratados y sus capacidades o posibilidades de éxito, bajo

las condiciones específicas de un sitio ya que depende de factores específicos de la zona y las propiedades físico-químicas del contaminante además, las tecnologías de remediación dependen de la fiabilidad demostrada o proyectada, del estado de desarrollo en el que se encuentra (laboratorio, escala piloto o gran escala) y por último del costo para la aplicación del mismo (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2007).

De manera que las implementaciones de nuevas tecnologías para la biorremediación puedan utilizar propios de la zona contaminada (nativos o de otros sitios (exógenos) en concordancia con la zona de realización del proceso de remediación puede ser Ex Situ o In situ, en condiciones aerobias o anaerobias entre otras condiciones a tener en cuenta (Candia, 2019).

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, (2007) define dos tipos biorremediación dependiendo de la zona donde se realicen los procesos:

- **In Situ:** son las aplicaciones en las que el suelo está contaminado, sin la necesidad de excavar el sitio, es decir se realiza en el lugar donde se encuentra el foco de contaminación.
- **Ex situ:** la ejecución de este tipo de tecnologías requiere excavación, dragado o cualquier otro método el cual permite remover el suelo contaminado antes de su tratamiento.

Clasificación dependiendo del tipo de tecnología de remediación:

- Tratamientos biológicos:** se aplica el método de biorremediación, es una tecnología basada en la capacidad biodegradadora de los microorganismos para eliminar contaminantes del suelo, mediante su transformación en productos inocuos o su total mineralización en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O (Vila et al., 2014).
- Tratamientos térmicos:** este tratamiento utiliza energía calórica que sirve para incrementar la volatilización (separación), quemar, descomponer o fundir (inmovilización) los contaminantes presentes en el suelo (Volke & Velasco, 2002).
- Tratamientos físico-químicos:** la implementación de este tratamiento determina los factores físico-químicos de los contaminantes o de la matriz contaminada para separar, destruir, aislar o contener la contaminación (Volke & Velasco, 2002).

Brutti et al. (2018) señalan que la biorremediación juega un papel principal en la recuperación de suelos afectados por contaminación difusa o puntual. El avance de la

minería y de las urbanizaciones sobre tierras agrícolas requiere la eliminación de elementos potencialmente tóxicos en el suelo como metales pesados y químicos orgánicos; por lo que en definitiva la biorremediación desempeña un rol trascendental en la prestación de servicios ecosistémicos para el suelo.

### 2.6.1. Técnicas de procesos de biorremediación

Estudios realizados por Department of Energy and Climate Change, (2015) afirman que se han utilizado métodos de biorremediación con excelentes resultados para tratar suelos, lodos y sedimentos contaminados con hidrocarburos totales de petróleo (HTP), solventes, explosivos, clorofenoles, plaguicidas e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). Muchas técnicas de biorremediación son competitivas en términos de costo y eficiencia de la matriz contaminada en comparación con los procesos de biorremediación más comunes. (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2007).

Dentro de estas técnicas se indican:

- a) **Bioestimulación:** implica la circulación de soluciones acuosas que contengan nutrientes u oxígeno a través del suelo contaminado, para estimular la actividad de los microorganismos autóctonos, y así mejorar la degradación o bien la inmovilización de contaminantes.
- b) **Bioaumentación:** esta tecnología se utiliza cuando se requiere el tratamiento de inmediato o la microflora autóctona es insuficiente. Consiste en adicionar microorganismos degradadores, el tamaño de la zona contaminada, la dispersión y la velocidad de crecimiento de los microorganismos degradadores
- c) **Biolabranza:** en este proceso la superficie de suelo contaminado se mezcla con agentes de volúmenes y nutrientes, se realiza habitualmente favoreciendo la aireación. El suelo es controlado, optimizado y teniendo en cuenta la velocidad de degradación (Department of Energy and Climate Change, 2015).
- d) **Fitorremediación:** esta técnica consiste en la remoción, transferencia, estabilización, concentración y pérdida de contaminantes que se encuentran en el suelo, mediante la utilización de especies vegetales (Fernández et al., 2013).
- e) **Biorremediación en la fase sólida (compostaje):** estimula la acción biodegradadora anaerobia y aerobia, de microorganismos nativos, la cual transforma los compuestos orgánicos tóxicos en sustancias inocuas en el cual el material contaminado es mezclado con sustancias orgánicas sólidas biodegradables (paja, aserrín, estiércol y desechos agrícolas) mejorando el

balance de nutrientes y asegurando una mejor aireación y generación del calor durante el proceso (Fernández et al. 2006).

## **2.7. Residuos orgánicos**

La fuente principal de origen de los residuos orgánicos son domésticos de origen vegetal o animal compuesta principalmente por desechos de comida que se desarrollan diariamente en las actividades cotidianas de las personas en mercados, restaurantes etc. Los residuos orgánicos son biodegradables es decir su proceso de descomposición es rápido transformándose en materia orgánica el cual ya no necesita que se lo elimine estos poseen un impacto en la ambiente fuente de contaminación del suelo, agua y atmósfera (CCA, 2017).

## **2.8. Microorganismos**

No se pueden observar a simple vista debido a que son microorganismos demasiado pequeños para ello se utiliza la implementación de microscopios, son los seres más primitivos y numerosos que existen en el planeta tierra se adaptan a todo tipo de ambiente (suelo, aire, agua) tienen interacción con el ser humano, animales y plantas estos son esenciales para el funcionamiento y vida en la tierra son considerados beneficiosos para la vida, muchos de estos cumplen funciones importantes en la industria, en el suelo algunos son utilizados para producir alimentos, bebidas, fármacos para la recuperación de suelos, resolver problemas de índole ecológico y de contaminación ambiental (Weng et al., 2005).

### **2.8.1. Importancia de los microorganismos**

La mayor importancia en la participación de procesos biológicos, ecológicos que hacen que sea posible el funcionamiento de los ecosistemas (acuáticos, terrestres), de gran importancia alimenticia, médica y restauradora al ser los primordiales en descomponer la materia orgánica ofrecen múltiples beneficios al suelo, plantas y al ser humano resisten grandes condiciones ambientales como falta de nutrientes, de oxígeno, aguas fundamentales para el ciclo de vida (Montaño et al., 2010) (Tabla 1).

**Tabla 1:** Diez principales servicios ecosistémicos que proveen los microorganismos.

---

**Diez principales servicios ecosistémicos que proveen los microorganismos**

---

1	Descomposición y mineralización de desechos orgánicos (materia orgánica)
2	Regulación de los ciclos biogeoquímicos (nitrógeno, fósforo, azufre, etc.).
3	Retención y liberación de nutrientes para las plantas.
4	Generación, mantenimiento y renovación del suelo y su fertilidad.
5	Regulación atmosférica de gases traza (producción y consumo CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub> , etc.)
6	Regulación de las poblaciones de animales y plantas.
7	Control de plagas agrícolas y urbanas.
8	Síntesis de productos farmacéuticos, alimenticios, industriales y de control biológico.
9	Mantenimiento de la productividad primaria de agroecosistemas y ecosistemas.
10	Recuperación de suelo y vegetación de ecosistemas degradados.

---

**Fuente:** (Montaño et al., 2010)

### **2.8.2. Microorganismos benéficos**

Los microorganismos benéficos (MOB) son multicultivo de diferentes grupos de microorganismos anaeróbicos y aeróbicos en coexistencia sinérgica eficientes, que intervienen en los procesos del suelo, se encargan de restablecer el equilibrio microbiano, las condiciones físicas y químicas del suelo contribuyendo a la recuperación de la fertilidad. Actualmente, la producción de estos, tienen una buena acogida en la agricultura y en la remediación de suelos empleando, es una tecnología amigable con el ambiente y trae consigo un beneficio al intervenir en los procesos biológicos de los suelos y ecosistemas (Vasquez et al., 2018).

### **2.9. Bokashi**

El bokashi es una técnica utilizada en la biorremediación de suelos contaminados, este producto actúa como acondicionador del suelo aportando en la adaptación de la microbiota natural y sus asociados, engrandeciendo la materia orgánica de los suelos (Berrios & Villegas, 2020).

El término bokashi proviene del idioma japonés, se genera a partir de la fermentación aeróbica de los residuos, dentro de las ventajas que destaca este autor es el suministro de microelementos y un pH biológicamente favorable (Marin, 2019).

### **2.9.1. Origen del bokashi**

Creado por los agricultores japoneses para implementación de sus cultivos, su significado hace referencia a “materia orgánica fermentada”; es un biofertilizante del que se deriva su nombre “Bo-ka-shi, es un proceso aeróbico a base de residuos vegetales considerado como una enmienda orgánica que aporta nutrientes al suelo, minerales y microorganismos (Moneva, 2019).

### **2.9.2. Microorganismos en el proceso de bokashi**

El bokashi contribuye con un gran porcentaje de bacterias como: actinomicetos, hongos y bacterias que aportan al suelo mejores condiciones de sanidad, la aplicación de bokashi produce diversidad y abundancia de colonias de microorganismos que se generan y se encuentran en la atmósfera, agua, suelo o residuos orgánicos a implementar (Labarca et al., 2018). El proceso de los microorganismos da inicio a la eficiencia en descomposición y transformación de materia orgánica adaptándose a diferentes temperaturas, estos pueden ser aerobios o anaerobios, traen beneficio, productividad y crecimiento a cultivos y fertilidad al suelo (Largo, 2020).

### **2.9.3. Bokashi como alternativa para la biorremediación de suelos**

En el trabajo de investigación realizado por Tillage et al., (2000) menciona que el uso de bokashi mejora las propiedades del suelo, sin embargo, hay que tener en cuenta las altas dosis, o en su caso el número de aplicaciones sostenidas el cual influye sobre la densidad en suelos con textura pesada y ciertos problemas físicos, reduciendo las pérdidas de humedad e incrementando la porosidad del suelo.

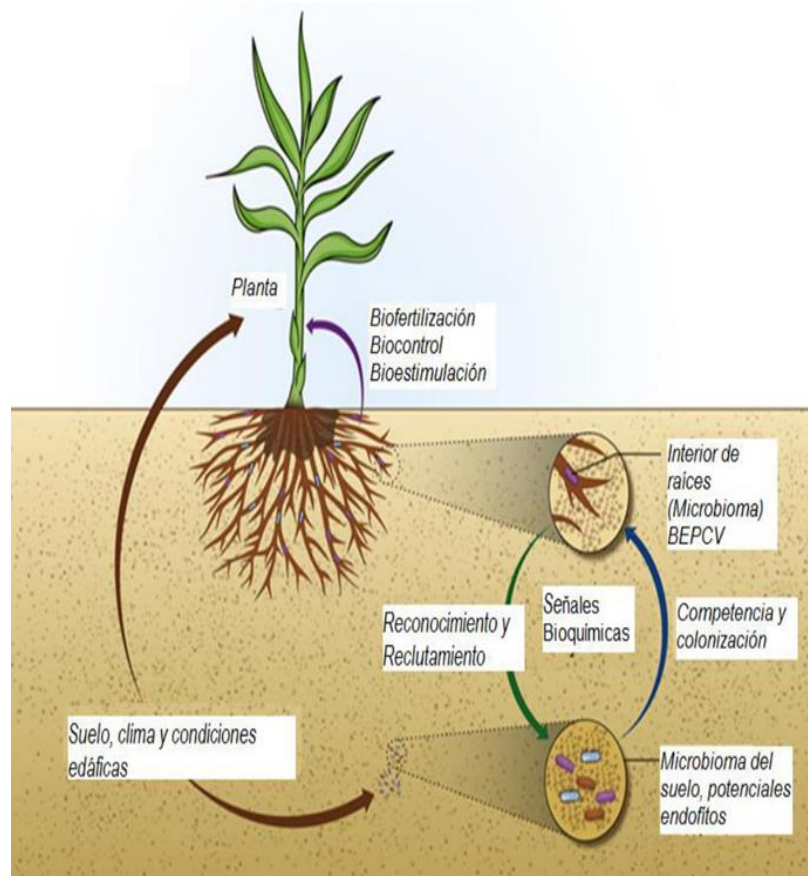
La utilización de microorganismos benéficos facilita la transformación de los residuos orgánicos por medio de la fermentación, permitiendo obtener un producto estabilizado en menos tiempo denominado compost bokashi (Reyes & Ortiz, 2019). Otras de las cualidades del bokashi es la incidencia benéfica en el tratamiento de suelos contaminados (Mauricio, 2016).

## **2.10. Planta de maíz**

Los microorganismos actúan en el desarrollo y funcionamiento de las plantas, sus raíces secretan las sustancias que son fundamentales para los microorganismos eficientes esquematizando ácidos nucleicos, hormonas, aminoácidos, vitaminas y otras sustancias bioactivas (Vega et al., 2021).

La planta de maíz absorbe los contaminantes del suelo mediante sus raíces, los antioxidantes de los microorganismos pasan directamente al suelo e indirectamente a las plantas proporcionando el CN y NPK que promueven la descomposición de la

materia orgánica, aumentando el humus en el suelo. Las diferentes plantas ayudan a mejorar el sustrato de modo que se incrementa la población de microorganismos eficientes mejorando el crecimiento de planta (Cuevas, 2017) (Figura 4).



**Figura 4:** Interacción entre planta-microorganismos.

Fuente: (Pérez, 2017).

### 2.11. Germinación de plantas de maíz

La germinación de la plántula de maíz inicia cuando el coleóptilo empieza a surgir, de esta manera da paso al mesocótilo y por último se forma en el inicio de la semilla la coleoriza esta es encargada de proteger la radícula, a continuación, se describe en la siguiente tabla las partes de la plántula y su función (Endicott et al., 2015) (Tabla 2 y Figura 4).

**Tabla 2:** Partes y función de la plántula.

<b>Partes de la plántula</b>	<b>Función</b>
Cubierta de la semilla (pericarpio)	Comprende del 5 al 6 % del peso total de la semilla.
Endospermo (almidón)	Comprende el 83 % del peso total de la semilla, está compuesta de una capa externa de almidón duro que rodea un núcleo interno más suave de almidón.
Embrión (germen)	Comprende el 11 % del peso total de la semilla, y consta de una plúmula y el escutelo.
Coleóptilo	Vaina protectora que rodea el brote emergente.
Mesocotilo	Primer nodo interno o parte de la raíz entre el cotiledón y el primer nodo.
Radícula	Raíz de la semilla o raíz principal.
Coleorriza	Vaina protectora que rodea la radícula.

**Fuente:** (Endicott et al., 2015).



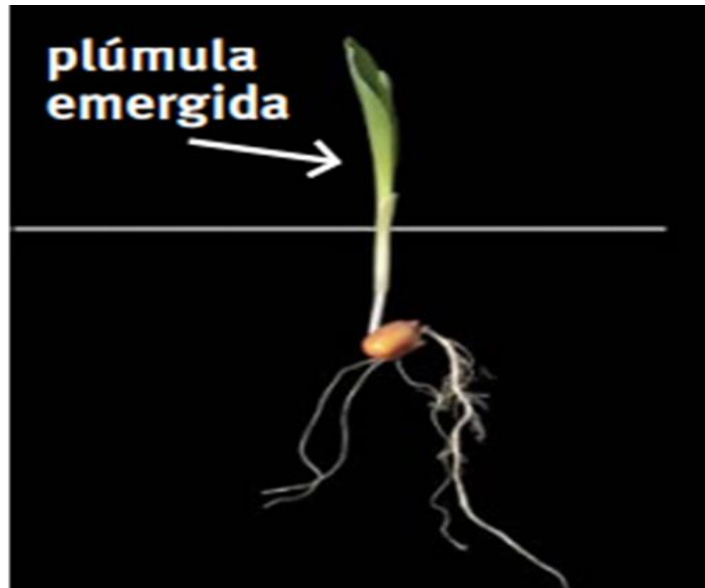
**Figura 5:** Partes de la germinación de la planta de maíz

**Fuente:** (Endicott et al., 2015)

### **2.11.1. Germinación y emergencia (VE)**

Luego de la siembra, la semilla de maíz tiende a absorber aproximadamente del 30 al 35 por ciento de su peso de agua, poco después que la radícula emerge de tres a cuatro raíces, forman un sistema de raíces seminales que favorece y actúa en la absorción de nutrientes y agua beneficiosos para la plántula, la mayoría de nutrientes para la plántula son proteínas y almidones del endospermo, en esta etapa el mesocotilo, o también llamado primer nodo interno, se alarga y empuja la punta del coleóptilo hacia

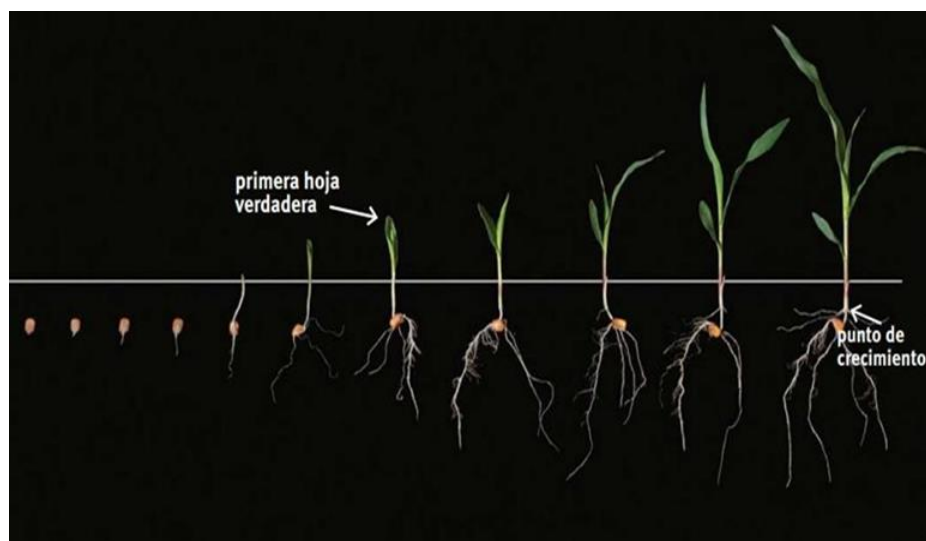
la superficie del suelo, cuando el coleóptilo rompe la superficie del suelo, se ha producido la emergencia se realiza el desarrollo radicular de coronas en la etapa VE (Endicott et al., 2015).



**Figura 6:** Plántula de maíz emergida  
**Fuente:** (Nafziger, 2021)

### 2.11.2. Etapa V1

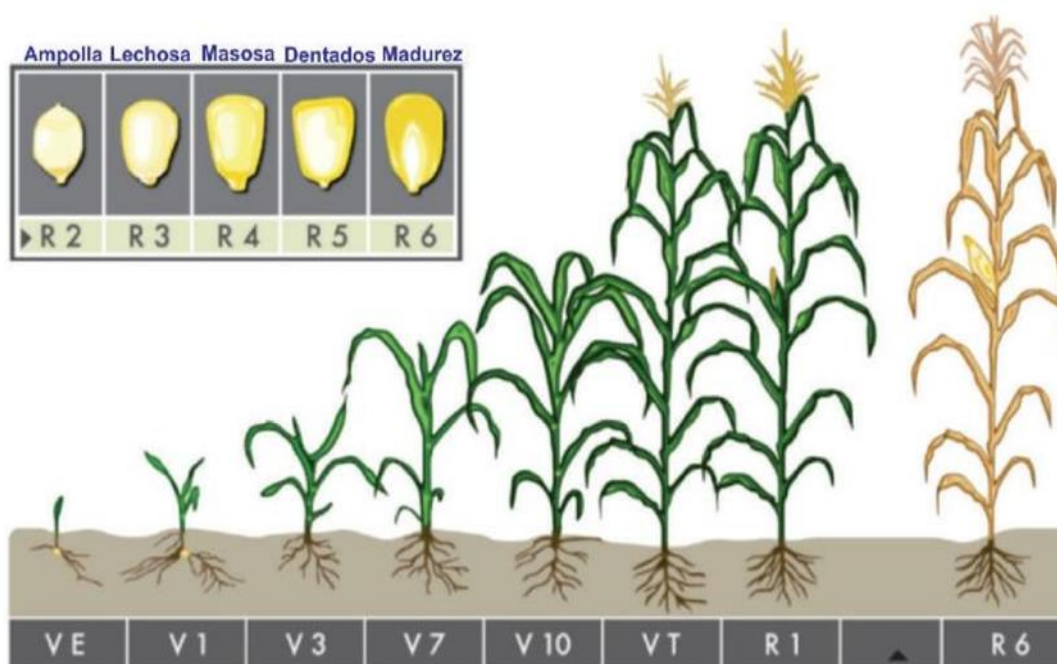
Las hojas embrionarias crecen a través del coleóptilo, y por ende la primera hoja contiene la forma de una punta redondeada, la cual emerge y se cuenta como la hoja de la V1 durante las primeras etapas de crecimiento (Figura 6), mientras que las hojas posteriores tienen extremos puntiagudos (Endicott et al., 2015).



**Figura 7:** Desarrollo de la plántula de maíz desde la germinación.  
**Fuente:** (Endicott et al., 2015)

### 2.11.3. Etapa V3

La parte del crecimiento en la etapa V3 es fotosintético y el final de su semilla siendo la alimentación primaria en la etapa V3 por ende la planta empieza a depender de sus raíces, sin embargo, estas aumentan de tamaño en esta etapa presentándose el crecimiento seminal a su vez la planta se vuelve dependientes de las semillas es decir la planta empieza a crecer y a dejar la semilla (Nafziger, 2021) (Figura 7).



**Figura 8:** Etapas fenológicas de la fase vegetativa del maíz.

Fuente: (Nafziger, 2021)

### 2.12. Análisis Legal del Ecuador

El análisis del marco legal se basa en la normativa vigente dirigida a velar por los derechos, cuidado y amparo del medio ambiente en el Ecuador.

Uno de los principales países que contiene una normativa ambiental actualizada, además de velar por los derechos, cuidado y protección del medio ambiente es Ecuador, es por ello que se detalla algunas leyes de protección al medio ambiente ante la minería, como: Constitución de la República del Ecuador, Código Orgánico Ambiental (COA), Ley de Minería y TULSMA, reglamentaciones que existen en el país.

El Art. 408, de la Constitución de la República del Ecuador establece que “Son de propiedad inalienable, imprescriptible e inembargable del Estado los recursos naturales no renovables y, en general, los productos del subsuelo, yacimientos minerales y de hidrocarburos (...)”, por lo cual, para la explotación de estos recursos se

debe contar los permisos establecidos en la Ley (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

Art. 409.- la Constitución de la República del Ecuador es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión (Código Orgánico del Ambiente, 2017).

Para establecer la calidad de un suelo contaminado por metales pesados Mercurio (Hg), Plomo (Pb) y Arsénico (As), se basa en los límites máximos permisibles establecidos en la propuesta de la Norma de Calidad Ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados - Anexo 2 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Norma de Calidad Ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados. (Código Orgánico del Ambiente, 2017).

En Ecuador la mayor contaminación se genera por la producción minera proveniente de la pequeña minería, a la cual se la considera en su mayoría como ilegal, Con el desarrollo de la minería en el país, la legislación ambiental ha mejorado, La ley de minería establece los siguientes artículos:

Art. 70.- Resarcimiento de daños y perjuicios. - Los titulares de concesiones y permisos mineros están obligados a ejecutar sus labores con métodos y técnicas que minimicen los daños al suelo, al medio ambiente, al patrimonio natural o cultural, a las concesiones colindantes, a terceros y, en todo caso, a resarcir cualquier daño o perjuicio que causen en la realización de sus trabajos (Asamblea Nacional Ecuador, 2018).

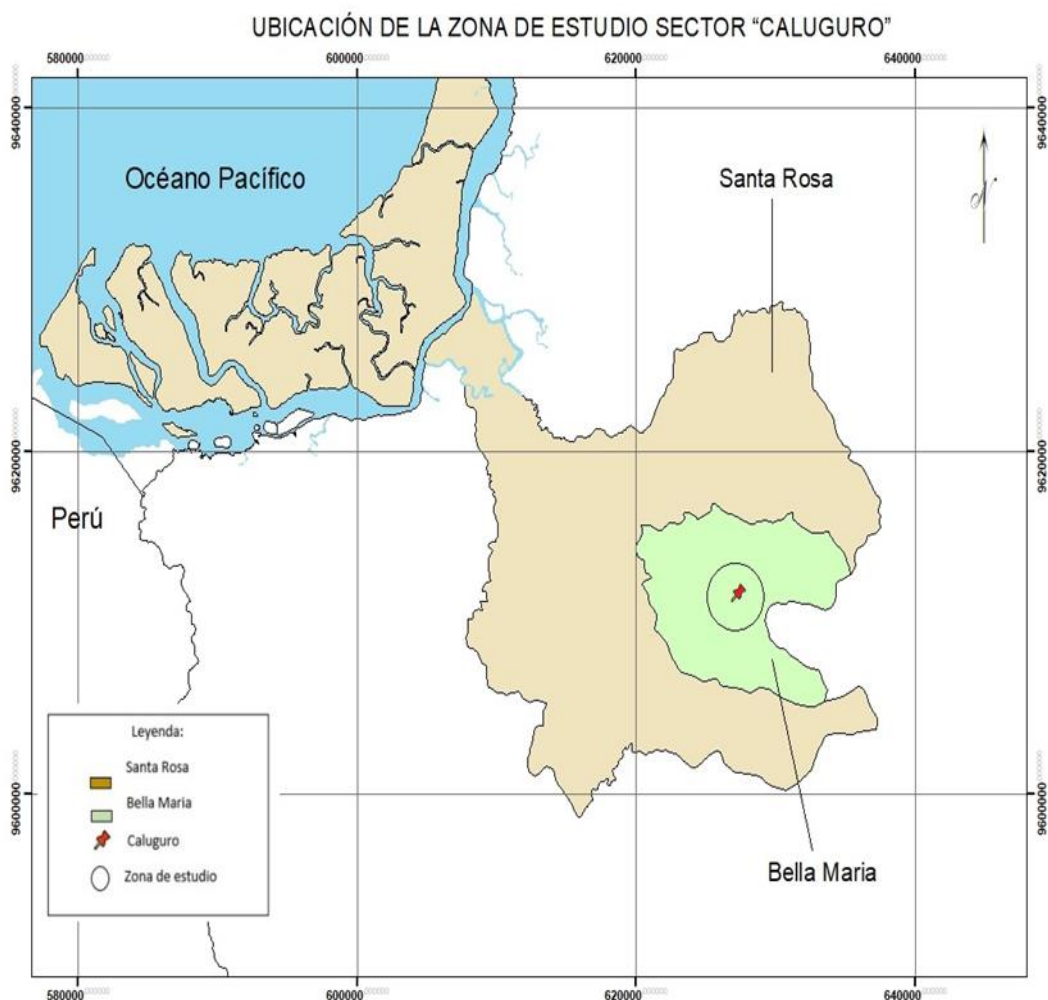
La ley de minería fue creada con el fin de regular diferentes procesos y actos que conlleva esta actividad, el Art. 81.- Acumulación de residuos y prohibición de descargas de desechos.- Los titulares de derechos mineros y mineros artesanales, para acumular residuos minero-metalúrgicos deben tomar estrictas precauciones que eviten la contaminación del suelo, agua, aire y/o biota de los lugares donde estos se depositen, en todas sus fases incluyendo la etapa de cierre, construyendo instalaciones como escombreras, rellenos de desechos, depósitos de relaves o represas u otras infraestructuras técnicamente diseñadas y construidas que garanticen un manejo seguro y a largo plazo (Asamblea Nacional Ecuador, 2018).

## CAPÍTULO III

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

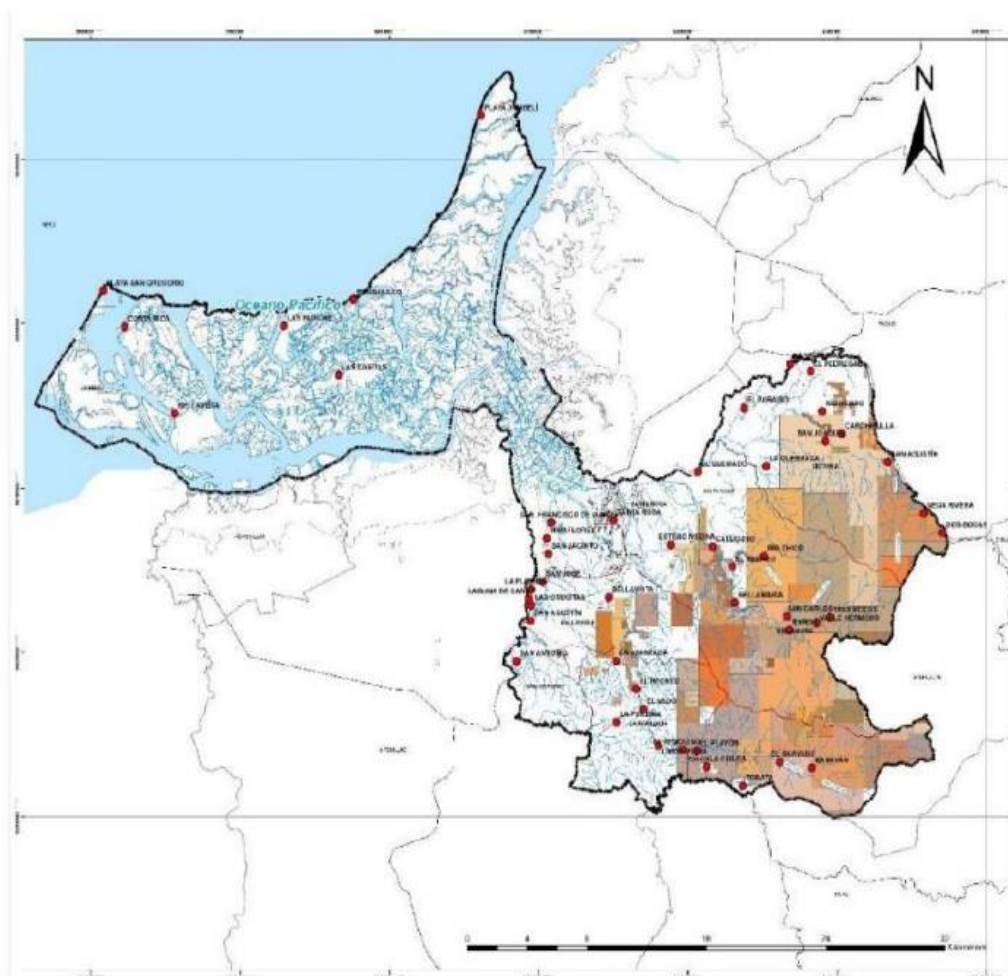
#### 3.1. Zona de estudio

La zona de estudio se encuentra localizada en el cantón Santa Rosa provincia del Oro, parroquia Bella María, sector Caluguro, ubicado al sureste a 7 km del centro de la ciudad. El sitio de investigación se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas planas en UTM: X: 618478; Y: 9611230; a una altitud de 25 m.s.n.m detallado en la figura 9. El sector corresponde a un clima tropical mega térmico, con una precipitación promedio anual de 500 a 1000 mm y una temperatura promedio anual de 23 a 26 °C (GAD, 2014).



**Figura 9:** Ubicación del lugar de estudio del sector Caluguro

## Mapa de concesiones mineras del sector Caluguro



**Figura 10:** Ubicación de concesiones mineras en la zona de estudio.

**Fuente:** PDOT Santa Rosa, 2020.

### 3.2. Materiales e insumos

Para cumplir cada uno de los objetivos de la presente investigación, se basó en un diseño de tipo experimental. A continuación se indican los materiales e insumos empleados para la recolección del suelo contaminado por acción de la minería, activación de los microorganismos beneficios, residuos orgánicos, preparación de los tratamientos, control de procedimiento, y toma de muestras del suelo tratado con bokashi y rizosfera de la planta de maíz (Moncayo, 2021).

#### 3.2.1. Materiales

a) Para la toma de muestra del suelo contaminado por minería, los materiales empleados fueron:

- GPS

- Pala
  - Balde
  - Saquillo
  - Libreta
  - Implementos de protección personal (botas, mascarilla, guantes)
- b) Materiales para la recolección de los residuos orgánicos, elaboración de las unidades experimentales, utilizando microorganismos benéficos y elaboración del polvo bokashi.
- 5 baldes de 3,8 kg para dar a las familias
  - 1 balanza de capacidad 50 kg
  - 1 balanza digital marca CAMRY para pesar las dosis de cada tratamiento
  - 1 tijera, para seccionar los residuos orgánicos.
  - 1 balde de 20 litros para colocar las capas de residuos orgánicos y la capa de Bokashi.
  - 9 cajas cooler, capacidad de 5 libras, para los tratamientos del suelo.
  - 3 botellas plásticas con un volumen de 600 ml
  - 2 cucharas de palo para el manejo de volteo
  - Guantes de plástico
- c) Materiales para la recolección del suelo contaminado por metales pesados para enviar al laboratorio.
- Funda ziploc para colocar la línea base
  - Fundas ziploc para colocar las muestras de cada tratamiento del suelo con la aplicación de bokashi.

### **3.2.2. Insumos**

- Residuos orgánicos provenientes siete familias como (cáscaras de verduras, frutas, tubérculos).
- Solución madre cultivo a base de microorganismos
- Agua sin cloro, para evitar la eliminación de bacterias (Mosquera, 2018).
- Melaza utilizada para el proceso de fermentación además de ser fuente energética para los microorganismos contiene micronutrientes uno de ellos es el boro, rica en minerales como magnesio, potasio y calcio (Ortega, 2012).
- Cubo maggi fuente de alimento para los microorganismos benéficos.

### 3.2.3. Implementos de protección

Los implementos de protección personal que fueron utilizadas para el contacto con los residuos orgánicos, recolección y producción de los tratamientos, para impedir un perjuicio a la salud.

- Guantes de látex para manipular los residuos orgánicos.
- Mascarilla, para protección de olores

### 3.3. Recolección de muestra de suelo

La recolección de la muestra de suelo contaminado por actividades mineras auríferas se realizó en el sector Caluguro, cantón Santa Rosa. Se tomaron muestras simples, según lo descrito en el Artículo 4.5.1.1 del Anexo 2, Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados (Código Orgánico del Ambiente, 2017). Se recolectó 37 libras de suelo contaminado a una profundidad de 30 cm en base a la metodología de toma de muestra de suelo (Figura 11-12).



**Figura 11:** Punto de referencia para obtener la línea base del suelo.



**Figura 12:** Recolección de la línea base del suelo.

Se procedió a empacar de la muestra (500 gramos) en una funda ziploc, se rótulo con la identificación de LBS (línea base del suelo) para determinar los parámetros físicos, químicos y biológicos iniciales del suelo de mina. Ésta fue enviada y analizada en el laboratorio BIONIKA de la ciudad de Quito.

### 3.4. Caracterización física, química y biológica

Los análisis realizados por el laboratorio Bionika evidencian que la línea base del suelo se encuentra con presencia de metales pesados como: Arsénico,

Plomo, Cadmio, Níquel, Mercurio y Cianuro, además, de presentar una textura franco arcillo arenoso finalmente la presencia de diferentes microorganismos

**Tabla 3:** Metales pesados encontrados en la LBS

Muestra	As	Pb	Cd	Ni	Hg	CN
LBS	18,75	77,00	4,00	68,00	82,00	1,70

### 3.5. Solución con microorganismos benéficos

La solución de microorganismos benéficos fue entregada por los laboratorios de la Unidad Académica de Posgrados.

### 3.6. Desarrollo metodológico para elaboración de bokashi con microorganismos benéficos

En un balde de 20 lt, se realizaba la mezcla de los insumos indicados anteriormente, se tapa y se procede a conservar esta mezcla por un periodo de 15 días en condiciones ambientales libre de la radiación solar, de preferencia un lugar sin luz. Cada tres días se realiza el proceso de aireación para la aceleración y activación de las bacterias por lo que se destapa por un lapso de 30 segundos con el objetivo de eliminar los gases que se crean por el proceso de fermentación y dar paso a un eficiente desarrollo y reproducción de microorganismos benéficos (Alvarez et al., 2018).

Al término de 15 días, en la solución líquida preparada con presencia de microorganismos benéficos se puede observar una capa blanquecina con una especie de costras y un olor agridulce debido a la presencia de los microorganismos benéficos (Anexo 2). En la figura 13 se observa el aspecto final de la solución con un color blanquecino.



**Figura 13:** Aspecto final de la solución microbiana activada.

#### 3.6.1. Elaboración de polvo bokashi

A la mezcla preparada con la solución líquida de microorganismos benéficos, se adiciona cuatro libras de semilla de trigo. Con el fin de humedecer el medio sólido se

procedió a realizar la prueba del puño con la finalidad de evitar excesos de líquidos (Figura 13), formándose el polvo bokashi. Se coloca en un medio hermético sin la incidencia de la luz del sol bajo condiciones ambientales (Gaviria & Caviedes, 2012).

Posteriormente se le agrega los residuos orgánicos.



**Figura 14:** a) solución líquida y b) prueba del puño.

### **3.6.2. Recolección de residuos orgánicos**

El manejo de los residuos orgánicos se fundamenta en una gestión: recogida, transporte y tratamiento, se pueden descomponer o degradar ágilmente, para convertirse en otro tipo de residuo orgánico (La Cruz, 2019).

Álvarez & Gámez, (2004) señala que debemos elaborar el bokashi con residuos orgánicos de frutas y verduras, estos tienen alto contenido de proteínas, carbono y nutrientes que dan una mejor absorción y aportan vitaminas al suelo.

Los residuos orgánicos al no ser gestionados correctamente, pueden tener impactos ambientales negativos, es por ello que en la actualidad los residuos orgánicos son importantes para la economía, porque son implementados en el aprovechamiento y transformación de abonos contribuyendo la sostenibilidad ambiental (Halkos & Petrou, 2015).

### **3.6.3. Registro de participante en el estudio**

Para dar inicio a este proceso de recolección de residuos orgánicos se visitó a siete familias del cantón Santa Rosa, explicando la finalidad del estudio y la metodología del proceso y la posterior recolección de los residuos, para lo que se registrando la cantidad de personas por domicilio (Figura 15).



**Figura 15:** Registro de participantes en el estudio.

#### **3.6.4. Recolección de materia orgánica**

La recolección se realizó por una sola vez la cantidad producida en una semana, esta se realiza en baldes debidamente codificados por cada familia del sector para evidenciar la fuente de origen (Figura 16-17).



**Figura 16:** Recolección de materia orgánica familia #1.



**Figura 17:** Recolección de materia orgánica familia #2.



**Figura 18:** Recolección de baldes de materia orgánica de las diferentes familias.

### 3.6.5. Pesaje de la materia orgánica

Se realizó el pesaje general de todos los residuos en kg registrando el peso total en este caso se obtuvieron datos de 15 kg (Figura 19).

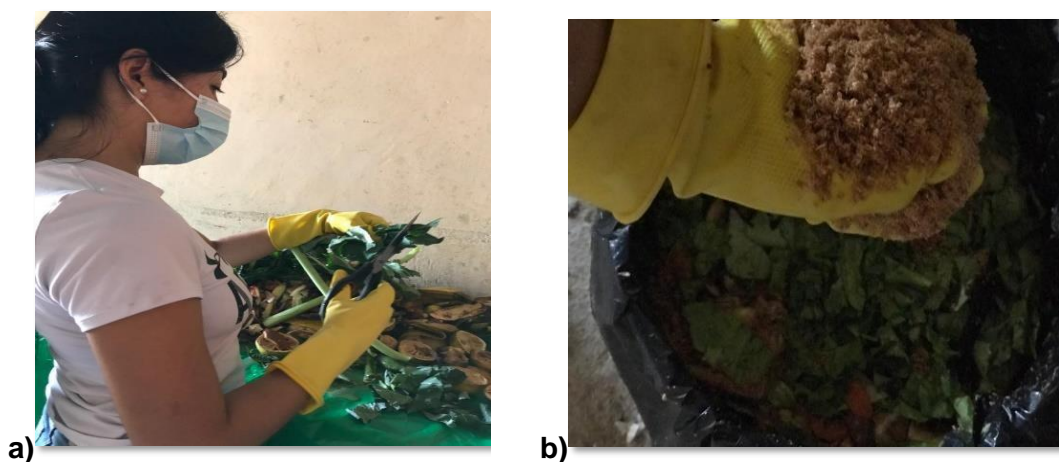


**Figura 19:** Balanza para pesar materia orgánica 15kg.

### 3.6.6. Mezcla del bokashi con los residuos orgánicos

De acuerdo a Córdova, (2015) es recomendable triturar los residuos orgánicos en tamaños de 3 a 5 centímetros. En un balde hermético de 20 litros se agregó por capas de residuos orgánicos y polvo bokashi, compactando la mezcla libre de aire (Figura 20). Una vez llenado el balde hermético debemos impedir el contacto directo de la luz solar, se esperó un periodo de tiempo de quince días, con la finalidad de que los microorganismos se activen y fermenten el medio. Para Velasteguí, (2005) el bokashi tiene que ser fabricado en un lugar protegido del sol e incidencia de la lluvia.

Finalmente, se retiró la mezcla del balde hermético para dejar en reposo en condiciones ambientales durante dos semanas para la transformación en polvo bokashi (Anexo 2).



**Figura 20:** a) trituración de la materia orgánica y b) materia orgánica y polvo bokashi por capas.

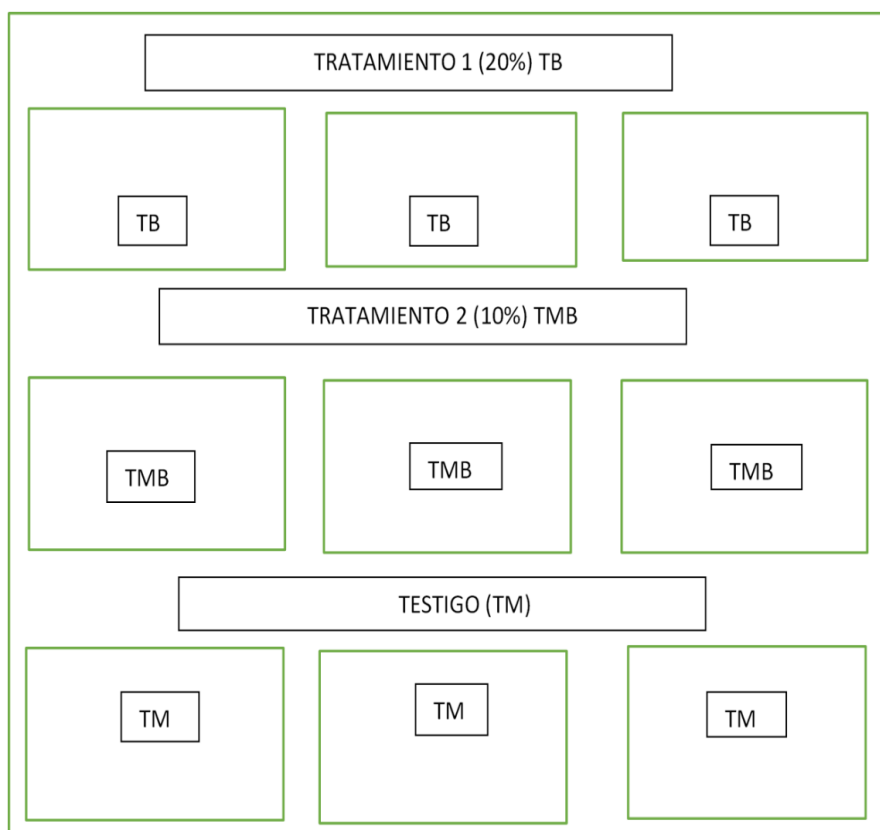
### 3.7. Diseño experimental

En el presente estudio se aplicó el diseño de estructura de bloques, dos tratamientos y un testigo, para cada tratamiento se realizaron tres repeticiones, al tratamiento (TB) aplicó una dosis al 20% de bokashi, al segundo tratamiento (TMB) una dosis del 10% y por último el testigo (TMS), obteniendo un total de 9 unidades experimentales, la tabla 4 muestra los valores correspondientes al peso en gramos de los dos tratamientos y el testigo al que se agregó agua libre de cloro (Moncayo, 2021).

**Tabla 4:** Representación de las dosis de los tratamientos

Unidades	Dosis de bokashi
TB	20% (362,874 gr) de Bokashi
TMB	10% (181,437gr) de Bokashi
Testigo (TMS)	Testigo

Se emplearon 9 cajas para las unidades experimentales cuyas dimensiones fueron de 20 cm x 30 cm (aproximadamente de 5 libras de capacidad); las repeticiones se las separaron a una distancia de 42 cm entre ellos, distribuidos en un área total de 2 m<sup>2</sup> (Figura 21).



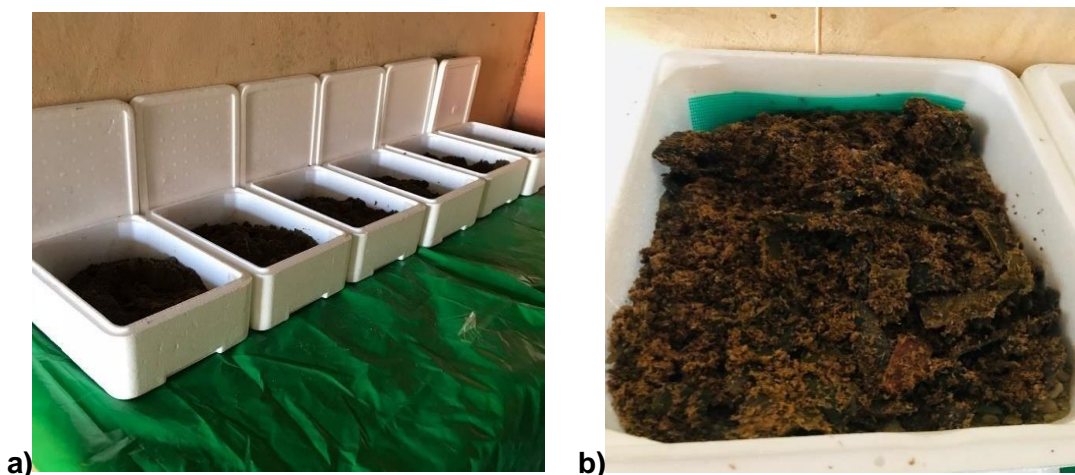
**Figura 21:** Orden de ubicación de las unidades experimentales.

Se procedió a realizar huecos en las cajas cooler con el objetivo que los líquidos tengan por donde salir, permitiendo posibles aireaciones.

A continuación, se empleó una malla a las cajas, para evitar la pérdida del suelo y se mantenga en un peso correcto.

Luego de realizar el peso del suelo con las cantidades registradas exactas se procedió a colocar en las cajas cooler con capacidad para 5 libras debidamente rotuladas para su respectiva identificación en las cuales se depositó cuatro libras de suelo contaminado (Figura 22).

Finalmente se preparó el polvo Bokashi luego de su periodo de fermentación, para ser pesado en cantidades del 20% (362,874 gr) y 10% (181,437 gr) para los dos tratamientos, se empleó una balanza digital realizando el pesaje en gramos para ello primero se debe encerrar la balanza y se procedió a pesar para la dosis uno la cantidad equivalente al tratamiento (Anexo 2). Agregándole las dosis exactas de bokashi respectivo a las muestras.



**Figura 22:** a) cajas de cooler con peso de 4 lb de suelo y b) cajas con implementación de las dosis exactas de bokashi.

De acuerdo con Moncayo, (2021) el diseño experimental una vez ya aplicado se separó las cajas a un trayecto de 42 cm, además, se contó con un control de volteo con un periodo de duración para este proceso de treinta días con una ubicación como se indica en la (Figura 23).



**Figura 23:** Ubicación de las unidades experimentales.

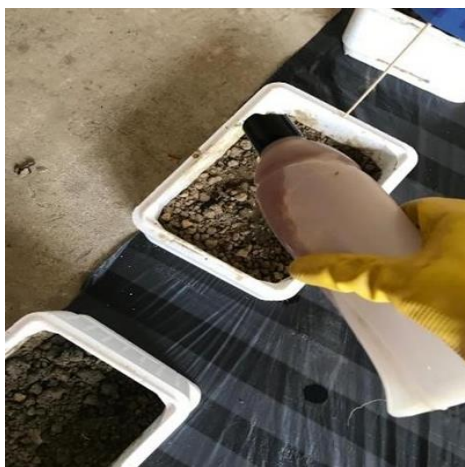
### **3.7.1. Manejo de los tratamientos**

#### **a. Volteo**

Se realizó el volteo, en cada una de las unidades experimentales con el propósito de permitir una descomposición adecuada en los tratamientos, mediante este proceso va de la mano la aplicación del riego (Alvarez-Vera et al., 2019).

#### **b. Riego**

Según Moncayo, (2021) indica que el propósito de realizar la acción del riego tiene como base permitir la hidratación para cada uno de los tratamientos, conforme se manipulaba en el proceso de volteo se aplicaba el riego, por lo cual se regaba una cantidad volumétrica de 3 litros diarios de agua sin cloro (Figura 24).



**Figura 24:** Riego con solución líquida a los dos tratamientos.

### c. Aplicación de microorganismos benéficos

Se midió en una botella de 600 ml, donde se agregó 0,3 ml de agua libre de cloro y 300 ml del líquido de los microorganismos de la solución madre, para el tratamiento dos 300 ml de los cuales 150 ml de agua libre de cloro y 150 ml de solución madre por último para el testigo sólo se aplicó el agua libre de cloro, realizando este proceso tres veces por semana durante el periodo de actividad de los tratamientos (Moncayo, 2021).

### 3.8. Siembra de planta de maíz en su primera fase de desarrollo

Para determinar el crecimiento de plantas de maíz en cada tratamiento se sembró tres semillas de maíz híbrido (DEKALB-7508) en cada una de las repeticiones separadas en distancias de 3 cm (Figura 25).

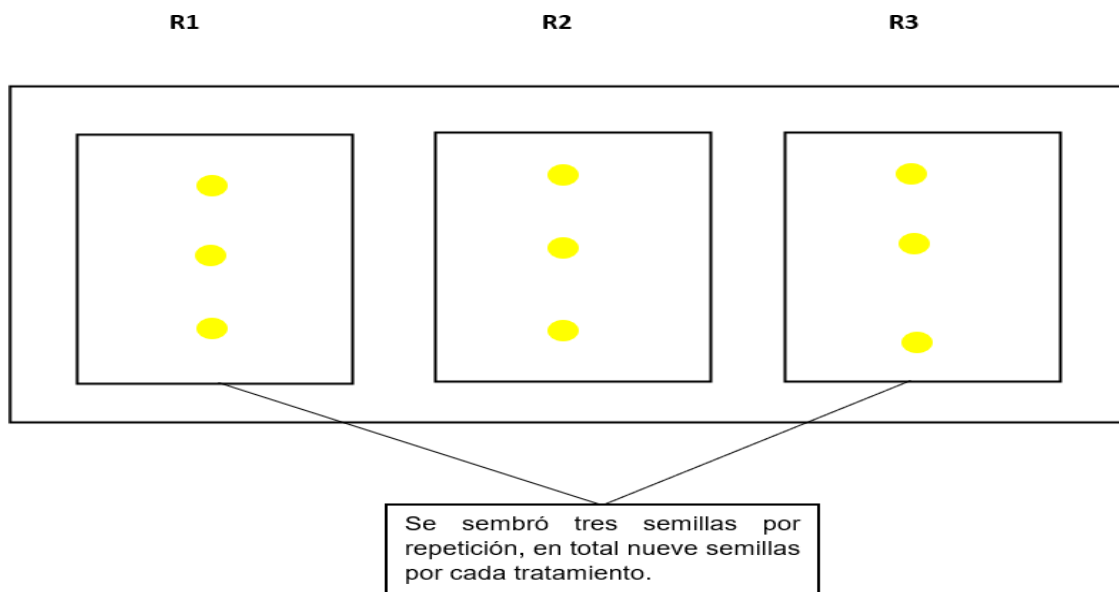


Figura 25: a) semillas de maíz híbrida y b) ubicación de la siembra de las semillas de maíz.

#### 3.8.1. Número de semillas en repeticiones por tratamientos

Tabla 5: Representación de las unidades de tratamientos.

Tratamientos	Descripción	Categoría de la semilla de maíz
TB	Tratamiento bokashi con dosis del 20%, y siembra de 3 semillas de maíz.	Maíz Híbrido DEKALB-7508.
TMB	Tratamiento de la muestra bokashi con dosis del 10%, y siembra de 3 semillas de maíz.	
TMS	Testigo de la muestra del suelo, consiembra de 3 semillas de maíz	



**Figura 26:** Esquema de siembra de maíz híbrido.

### 3.9. Porcentaje de germinación de la semilla

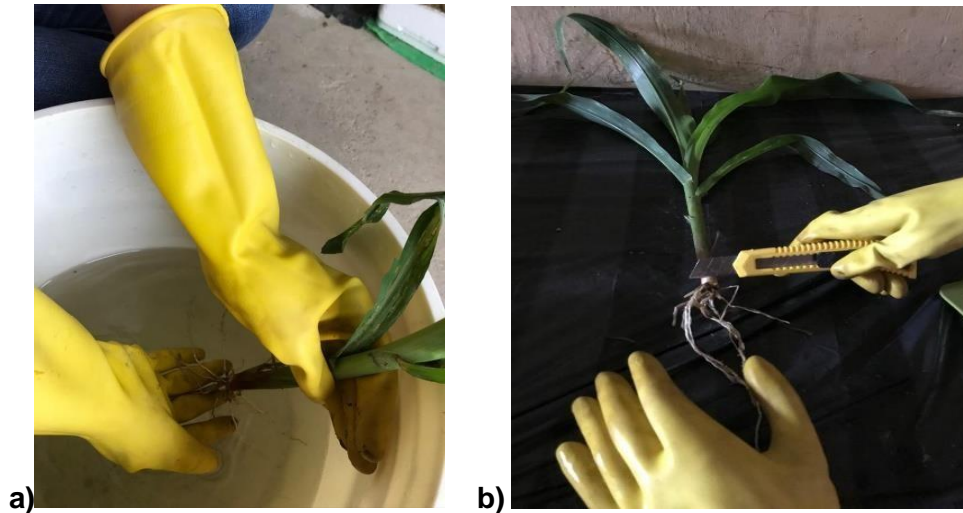
Se determina el porcentaje de germinación de las semillas de maíz híbrido sembradas para ello se usó la siguiente ecuación 1.

$$\% \text{ de germinación} = \frac{\text{número total de plantas}}{\text{número total de semillas del tratamiento}} * 100\% \quad (\text{Ecu 1})$$

### 3.10. Evaluación de las partes de la planta de maíz

#### 3.10.1. Extracción y lavado de raíces de maíz

Para este proceso, se efectuó 25 días después de la plantación, en base a (Casanova et al., 2010) se debe realizar un lavado del sistema radicular, para ello se empleó un recipiente de plástico de este modo se lavó la raíz con mucho cuidado manualmente con el objetivo de remojar y suavizar la raíz del suelo, por último, se las colocó en un fondo negro para su mayor apreciación en la medición de su longitud (Figura 27).



**Figura 27:** a) remojo y lavado de la raíz y b) raíz extraída de la planta de maíz.

### 3.10.2. Medición de la longitud de raíz

Para la medición de la raíz de la planta de maíz, se utilizó un calibrador digital marca tupper, además una cinta métrica con el objetivo de tener datos más correctos. Las unidades experimentales recibieron las dosis designadas con bokashi para el desarrollo radicular (Alvarez et al., 2018) (Figura 28).



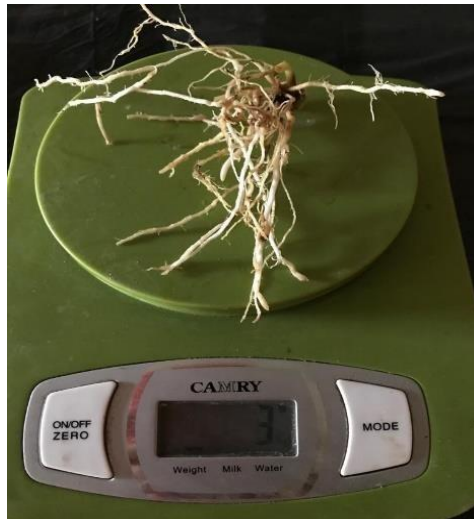
**Figura 28:** Longitud de la raíz de la planta.

### 3.10.3. Peso de la raíz

Para el control del peso fresco y seco de la raíz se emplearon dos balanzas una CAMRY EK 3651 y una electrónica marca CAMRY una para el peso fresco y la otra para el peso seco; para ello se separó la raíz de la planta mediante un corte, además fue colocada en la balanza digital para obtener un registro correcto de su pesaje.

### a. Peso húmedo

Es recomendable colocar una toalla absorbente de agua para que retire totalmente el agua una vez lavada la raíz, de este modo se realizará el peso correcto de la misma (Figura 29).



**Figura 29:** Peso húmedo de la raíz.

### b. Peso Seco

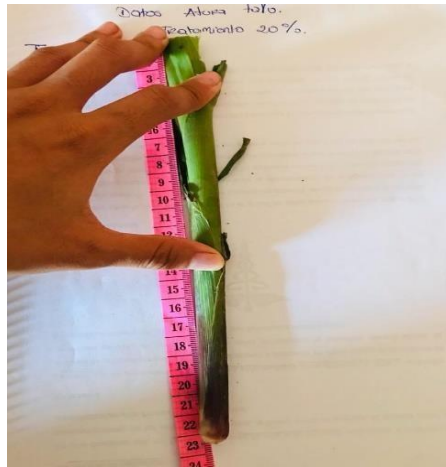
Según López et al. (2016), las raíces deben ser llevadas a una estufa, una vez cumplido el tiempo de 25 minutos, las raíces salen completamente deshidratadas (secas) para ser colocadas en una balanza electrónica modelo CAMRY los datos se reportan en gramos (Figura 30).



**Figura 30:** Peso seco de la raíz.

### 3.10.4. Medición de longitud del tallo

Se obtiene las medidas del tallo según Sarabia (2014), resulta ser más conveniente realizarla mediante la utilización de una cinta métrica (Figura 31).



**Figura 31:** Medida de la longitud del tallo.

### 3.10.5. Peso del tallo

Para el registro de los pesos del tallo (húmedo y seco), se utilizaron 2 balanzas una digital y electrónica CAMRY modelo EK 3651, para determinar el respectivo pesaje; para ello se separó la raíz del tallo realizando un referente corte, donde se colocó en el equipo mencionado y se procedió a obtener los datos y registro.

#### a. Peso húmedo

Una vez separada los componentes de las plántulas, según Garcés & Forcelini (2011) indica que de inmediato se debe acondicionar los materiales para el peso húmedo del tallo con el objetivo de evitar la deshidratación del tallo el cual fue pesado para determinar el peso fresco o húmedo (Figura 32).



**Figura 32:** Peso húmedo del tallo.

## b. Peso seco

Según Garcés & Forcelini, (2011) realizó primeramente el peso seco del tallo, colocando las muestras de acuerdo al orden de los tratamientos en una estufa por un tiempo de 25 minutos, para la determinación del peso seco en gramos, se empleó una balanza distinta electrónica marca CAMRY (Figura 33).



**Figura 33:** Peso seco del tallo.

### 3.11. Análisis de laboratorio de las muestras del suelo de los tratamientos

Para este proceso final de la recolección muestras con bokashi, en base a (Ministerio del Ambiente Perú, 2014) se ejecutaron los siguientes procesos:

- Por las tres repeticiones de cada tratamiento se recogió 166,66 gr de suelo, luego se colocó en un recipiente, este proceso es llamado muestra compuesta con un total de 500 gr por cada tratamiento.
- A continuación, se procedió a empacar cada muestra con su respectivo código de Nomenclatura en fundas ziploc.
- Finalmente, las muestras finales del suelo con bokashi, se realizó en el laboratorio BIONIKA ubicado en Quito para su respectiva evaluación de la caracterización físico/química y biológica (Figura 34).



**Figura 34:** Muestras finales de los dos tratamientos y testigo.

### **3.12. Análisis estadístico de la evaluación de la planta de maíz.**

Para el respectivo análisis de datos se aplicó, la estadística descriptiva e inferencial para determinar el desarrollo de plantas de maíz, mediante el uso del software estadístico R studio y el programa Excel, para el nivel de inferencia se utilizó la prueba de varianza (ANOVA) a un nivel de significancia de (0,05) de la información recolectada de las diferentes partes de la planta de maíz que se desarrolló en los diferentes tratamientos, permitiendo determinar si los tratamientos tienen diferencias significativas con respecto a la eficiencia del bokashi en el suelo.

Los datos analizados fueron la parte de la raíz y el tallo, siendo la longitud y la altura y a su vez determinando el peso seco y húmedo de ambas partes mencionadas de la planta de maíz.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Características físicas, químicas y biológicas del suelo de Caluguro

**Tabla 6:** Resultado de la caracterización física, química y biológica de la calidad inicial del suelo.

Características	Parámetros	Resultados	Unidades	Acuerdo Ministerial 097-A -
<b>Físicas</b>	Arena	55	%	-
	Limo	20	%	-
	Arcilla	25	%	-
	Clase Textural	Franco	Tipo	-
	ESTRUCTURA	Agregada		-
	OXIGENO	12	%	-
<b>Químicas</b>	pH	4,20	-	6 a 8
	Densidad	0,99	g/ml	-
	Conductividad	1,12	uS/cm	200 uS/cm
	Nitratos	6	ppm	-
	Amonio	2,2	ppm	-
	Fosforo total	55	ppm	-
	Fosforo soluble en	18	ppm	-
	Zinc	5	ppm	60 mg/kg
	Cobre	2,5	ppm	25 mg/kg
	Hierro	50	ppm	-
	Mn	7	ppm	-
	Ktotal	92	ppm	-
	Ksoluble - agua	75	ppm	-
	Calcio (Ca)	255	ppm	-
	(Mg)	70	ppm	-
	(S)	12	ppm	250 mg/kg
	(B)	0,2	ppm	1 mg/kg
	M.O	1,1	%	-
	(As)	18,75	ppm	12 mg/kg
	(Pb)	77	ppm	19 mg/kg
	(Cd)	4	ppm	0,5 mg/kg
	(Ni)	68	ppm	19 mg/kg
	(Hg)	82	ppm	0,1 mg/kg
(Cn)	1,70	ppm	0,9 mg/kg	

<b>Biológicas</b>	<i>Actinomyces</i> sp.	0,6211587	UFC/g	-
	<i>Alcaligenes</i> sp.	n.d.	UFC/g	-
	<i>Arthrobacter</i> sp.	n.d.	UFC/g	-
	<i>Azotobacter</i>	n.d.	UFC/g	-
	<i>Bacillus subtilis</i>	1,5291585	UFC/g	-
	<i>Bacillus</i>	0,7521478	UFC/g	-
	<i>Bacillus cereus</i>	n.d.	UFC/g	-
	<i>Bacillus megaterium</i>	0,4211874	UFC/g	-
	<i>Cladosporium</i> spp	0,9547847	UFC/g	-
	<i>Fusarium</i> sp.	0,9510897	UFC/g	-
	<i>Gelasinospora</i> sp.	n.d.	UFC/g	-
	<i>Geomyces</i> sp.	1,0211478	UFC/g	-
	<i>Gliomastix</i> sp	0,6521478	UFC/g	-
	<i>Hansfordia</i> sp.	n.d.	UFC/g	-
	<i>Mucor</i> sp.	n.d.	UFC/g	-
	<i>Pseudomonas</i>	1,0214578	UFC/g	-
	<i>Streptomyces</i>	1,2547859	UFC/g	-
	<i>Propionibacterium</i>	1,5547056	UFC/g	-
	<i>Trichoderma</i> spp	0,9365314	UFC/g	-
<i>Thiobacillus</i>	1,5012487	UFC/g	-	

Los resultados fueron otorgados mediante el análisis realizado por BIONIKA laboratorios, (Anexo 3-4-5-6) donde se examinaron parámetros físicos/químicos y biológicos del suelo estudiado, evidenciándose que los metales pesados conformados por arsénico, plomo, cadmio, níquel, mercurio y cianuro, reflejaron una contaminación del suelo debido que sobrepasaron los valores basados en el Anexo dos de la tabla del Acuerdo Ministerial 097-A (Tabla 2); (Anexo 11). Se destaca que en esta zona se encuentra situada la minería informal ocasionando el deterioro del recurso agua y suelo (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015). Con respecto a los metales mencionados se realizaron tratamientos de remediación para recuperar estos suelos. De acuerdo a los estudios realizados por (Angamarca & Valarezo, 2020) se han registrados niveles superiores de cadmio y mercurio en el agua, sobrepasando el límite máximo permisible; donde se requiere únicamente un tratamiento convencional, estos elementos al ser un contaminante pesado tiende a depositarse en el suelo.

#### **4.2. Efecto del bokashi en el suelo contaminado**

Para este diseño experimental se consideraron dos tratamientos con diferentes dosis, analizando las características físicas del suelo, además, tomando como referencia los valores que no cumplen con la normativa ambiental entre ellas las características químicas: conductividad eléctrica (C.E), arsénico (As), níquel (Ni) y mercurio (Hg) Además, se analizó la carga microbiana en los tratamientos desarrollados, desde el ítem 4.2.2 se muestra los resultados de cada uno de los parámetros expuestos.

#### 4.2.1. Textura del suelo

En los análisis iniciales respectivos se evidencia que presenta una textura franco-arcillo-arenoso con un porcentaje de arena del (55%), limo (20%) y arcilla (25%) presentando una clase textural franco-arcillo-arenoso con densidad de (0.99) por ultimo un porcentaje de oxígeno de (12%) Luego de aplicar bokashi con la rizosfera de la planta de maíz los análisis con el tratamiento TB con dosis del (20%) presenta mejores condiciones arena del (60%), limo (20%) y arcilla (20%) presentando una clase textural arcillo-limo-arenoso con densidad de (0.82) por ultimo un porcentaje de oxígeno de (20%) y TMB con dosis del (10%) presentan condiciones algo similares al TB en sus parámetros, sin embargo se observa que el testigo TMS el cual solo obtuvo agua libre de cloro presenta características similares a la línea base del suelo (LBS) como se indica en la (Tabla 7).

**Tabla 7:**Textura del suelo

<b>Muestras</b>	<b>Arena %</b>	<b>Limo %</b>	<b>Arcilla %</b>	<b>Clase Textural</b>	<b>Estructura</b>	<b>Densidad</b>	<b>% Oxígeno</b>
LBS	55	20	25	Franco-arcillo-arenoso	Agregada	0,99	12
TMB	65	25	10	Arcillo-limo-arenoso	Agregada	0,79	18
TB	60	20	20	Arcillo-limo-arenoso	Agregada	0,82	20
TMS	56	22	22	Franco-arcillo-arenoso	Agregada	1,11	13

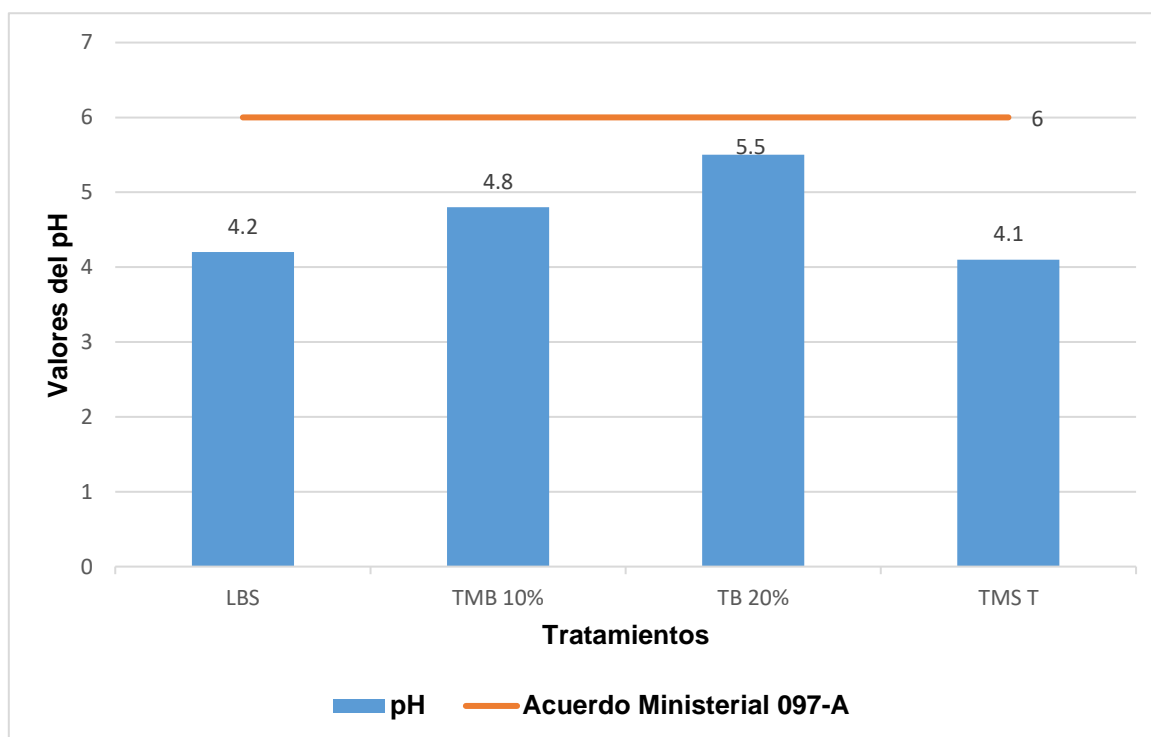
Prado, (2004), indica que realizo su estudio en el suelo del sitio del ensayo se caracteriza por ser de textura arcillo- limo-arcillo arenoso, con una capacidad de aireación del 15%; con un pH de suelo de 4.5 y contenido de materia orgánica de 5.1%. El pH del suelo, de extremadamente ácido paso a ligeramente ácido, existiendo un incremento en 1.8 puntos en todos los tratamientos con la aplicación del abono bokashi en los diferentes tratamientos se evidencio un incremento del 43% en nitrógeno disponible (140 ug/ml), el fósforo presenta 35 ug/ml con un incremento del 83%, y, el potasio presenta 160 ug/ml incrementándose un 63% del valor inicial. El T1 y T2 donde se aplica el abono bokashi en las dosis de 0.5 y 1 kg/planta la capacidad de aireación se mejora con un valor del 21% respectivamente. Estos suelos de acuerdo al diagrama triangular se encuentran físicamente en la categoría de bueno, físicamente se encuentra en la categoría de muy bueno.

El bokashi aporta una gran cantidad de microorganismos: hongos, bacterias, actinomicetos, que brindan al suelo mejores condiciones de sanidad debido a la gran cantidad de microorganismos que contiene el bokashi muestra una intensa actividad biológica, al respecto, se señala que las ventajas más importantes del bokashi, es que a las dosis que se utilizan, suministran a la planta los microelementos

en forma soluble y en un micro ambiente de pH biológicamente favorable para la absorción radicular (pH 6,5 a 7,0), otra ventaja la representa el hecho de que los microorganismos benéficos presentes el bokashi compiten por micro espacios y energía con los microorganismos patógenos que hay en la zona radicular de la planta lo que mejora la calidad del suelo (Ramos et al., 2014).

#### 4.2.2. Potencial de hidrógeno (pH)

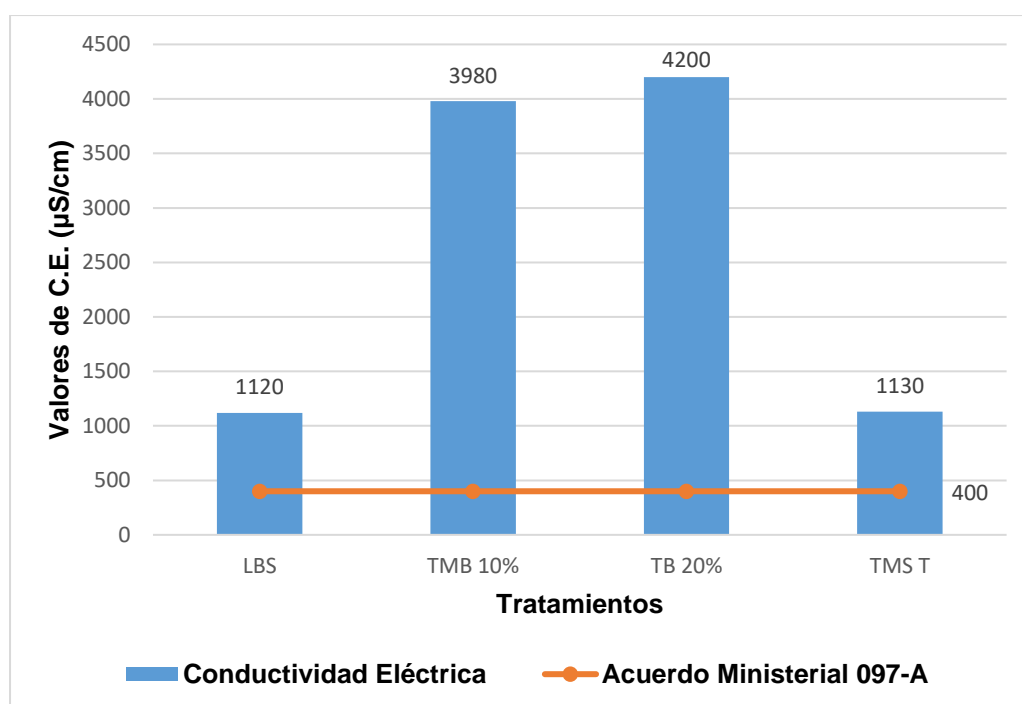
En el proceso la experimentación se obtuvieron los valores del pH para ser comparados con el valor inicial (LBS) línea base del suelo y la normativa vigente ecuatoriana, donde los tratamientos (TMB y TB) tratamiento de la muestra bokashi y tratamiento bokashi y testigo (TMS) testigo de la muestra del suelo resultaron ser todavía un suelo ácido (Figura 35). Es necesario acotar que a pH bajos se dan por los metales pesados donde facilitan la movilidad en forma iónicas libres o como órgano-metales solubles (Covarrubias et al., 2015). Sin embargo, las dosificaciones de los tratamientos empleados sí presentaron mejores cantidades de este parámetro en comparación a LBS, destacándose óptimo el segundo tratamiento debido a que se acerca a la legislación.



**Figura 35:** Variación de la concentración del pH, tratamientos y testigos con respecto al Acuerdo Ministerial 097-A.

### 4.2.3. Conductividad eléctrica

La figura 36 indica los resultados de los valores de la conductividad eléctrica de cada tratamiento; donde se evidenciaron variaciones de este parámetro, sobresaliéndose de los criterios de remediación dados por la normativa ecuatoriana vigente. Según los investigadores (Badia, 1992; Ogosi, 2018) la C.E. se relaciona con la salinidad del suelo, de acuerdo a la clasificación basada por ellos, destacando que el LBS, TMB y TMST pertenecen a un suelo alcalino debido que la C.E. es menor a 4 dS/m (4000 Ms/cm) mientras que el tratamiento TB corresponde ser un suelo salino por ser un valor superior a la cantidad mencionada anteriormente.

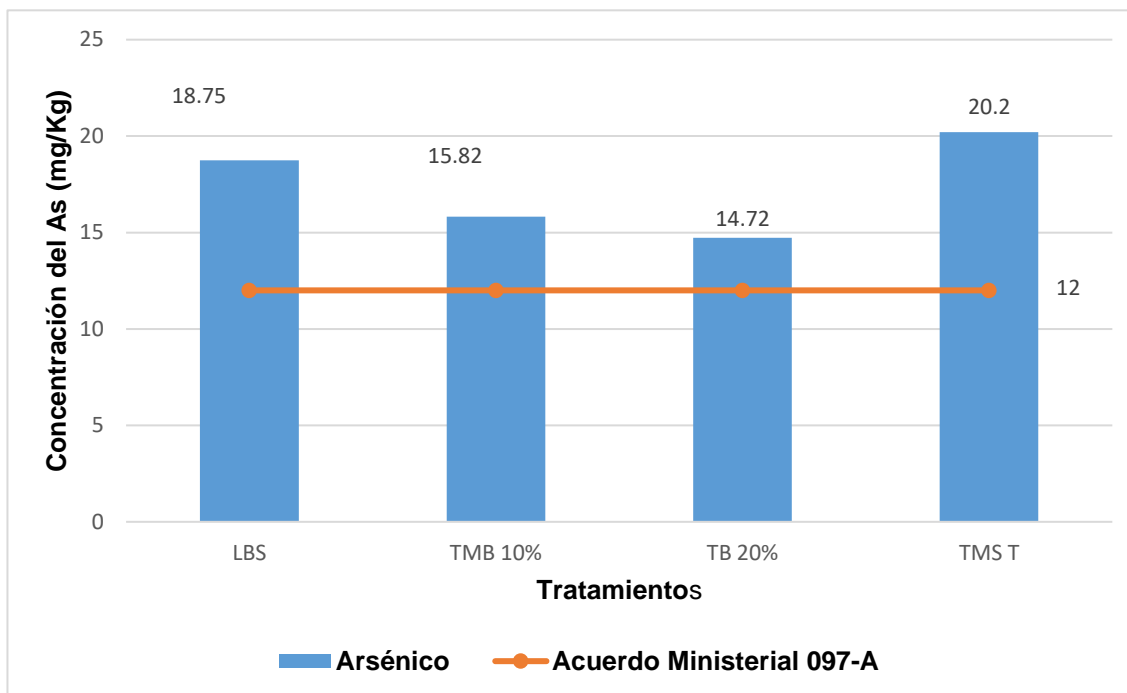


**Figura 36:** Concentración de la C.E en la parte inicial, tratamientos y testigos con respecto al Acuerdo Ministerial 097-A.

### 4.2.4. Concentración de Arsénico

En cuanto al parámetro del arsénico los datos resultantes se manifiestan en la figura 37, demostrando que este metal en la línea base resultó un valor de 18,75 mg/kg, luego de haberse aplicado las dosis correspondientes para cada tratamiento, se evidenció un decrecimiento notable de 15,82 mg/kg en (TMB) y 14,72 mg//kg en (TB), dado que el bokashi tiende a reducir los niveles de este contaminante presente en el suelo. De acuerdo al estudio realizado por Krumova et al. (2008) establece que en el entorno natural existen diferentes cargas microbianas que reconocen al metal arsénico por medio de diferentes mecanismos como son oxidación – reducción mediados por enzimas, exclusión, metilación, quelación e inmovilización.

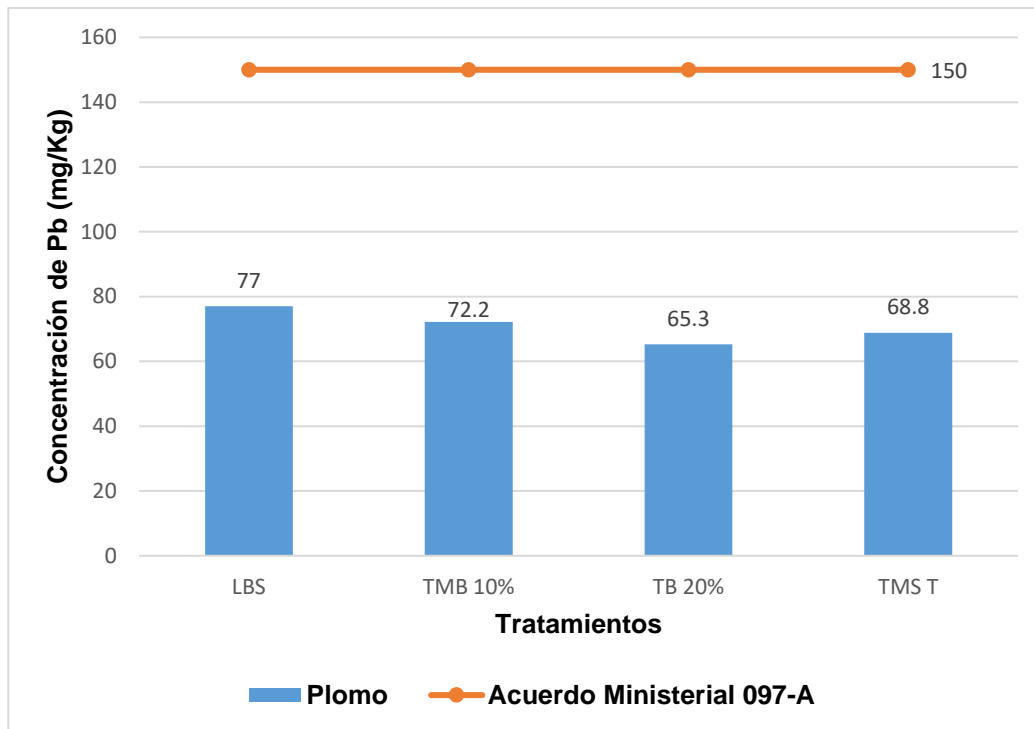
Cabe destacar que, en la investigación de Montoya et al., (2015) indica que la biorremediación microbiana en la actualidad es una alternativa amigable con el ambiente, solucionando estos problemas de contaminación del suelo. Por otra parte, los valores obtenidos en la experimentación siguen incumpliendo con los criterios de remediación sobre el uso del suelo industrial establecidos en la Tabla 2 del Acuerdo Ministerial 097-A.



**Figura 37:** Resultado del As en la parte inicial, tratamientos y testigo con respecto al Acuerdo Ministerial 097-A.

#### 4.2.5. Concentración de Plomo

En la figura 38 se indican los resultados del plomo (Pb), obteniendo una concentración correspondiente en la línea base de 77 mg/kg, en cuanto al tratamiento con dosis del 10% de bokashi dando una cantidad de 72,2 mg/kg en comparación con el TB se evidenció una disminución siendo de 65,3 mg/kg, donde a primera vista se verificó una eficiencia del bokashi en los tratamientos, ayudando a disminuir el plomo, además que este metal Pb está dentro del rango establecido. Según Mauricio, (2016) en su trabajo de investigación Biorremediación con abono bokashi para la recuperación de los suelos contaminados con plomo (Pb) en la comunidad Vicco Pasco 2016, tuvo como objetivo evaluar en qué medida la biorremediación con abono bokashi recupera los suelos contaminados por plomo, el bokashi es óptimo para la biorremediación del suelo contaminado con plomo ya que se redujo en un 67,37% este metal pesado con un tratamiento de 2 meses aun pH: 7,06; materia orgánica: 6,34%; P: 396 mg/kg; K: 655 mg/kg obteniendo los parámetros óptimos.

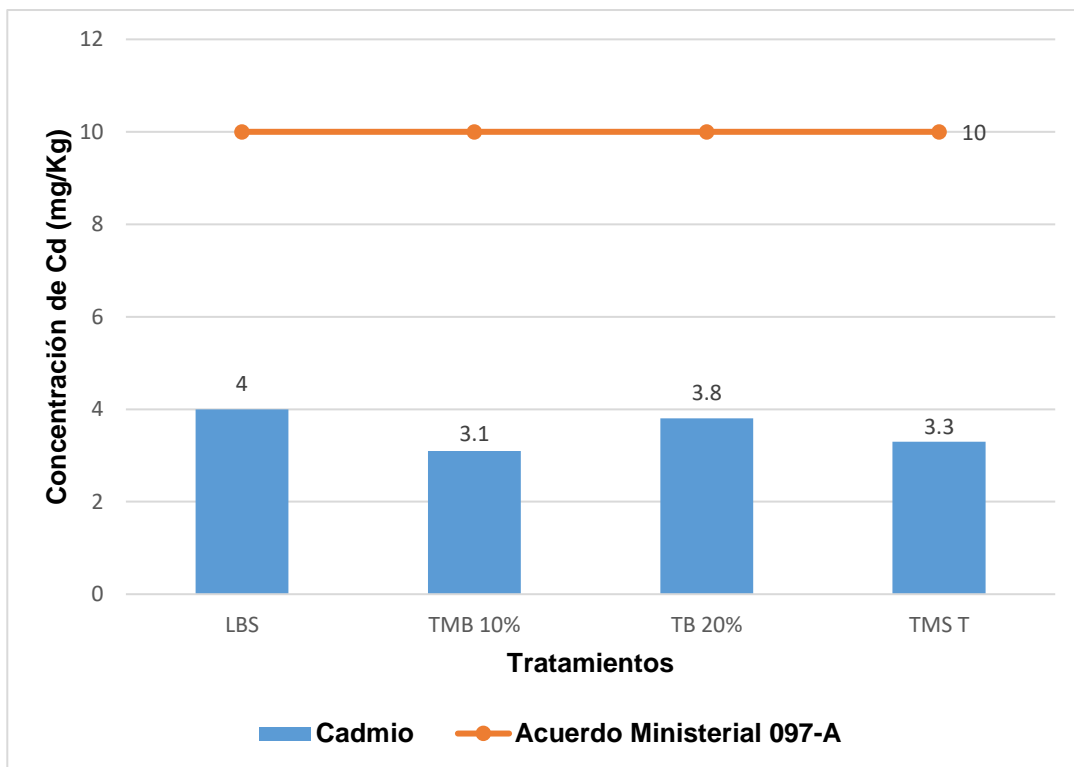


**Figura 38:** Resultado de la concentración de Pb en la parte inicial, tratamientos y testigo con respecto al Acuerdo Ministerial 097-A.

#### 4.2.6. Concentración de Cadmio

Acerca de los resultados del cadmio se observan en la figura 39, donde todas las concentraciones se encuentran cumpliendo con los criterios de remediación del suelo para uso industrial basados en el Acuerdo Ministerial 097-A, mientras que en el criterio estipulado mencionado en la Tabla 6 este parámetro se encuentra sobrepasando. Por ello, se lo consideró para esta recuperación donde se evidenció una disminución de Cd en los tratamientos desarrollados durante la experimentación, registrando valores de 3,1 mg/kg (TMB) y 3,8 mg/kg (TB). Cabe mencionar que cuando este metal se presenta en concentraciones elevadas, estos forman compuestos inespecíficos creando efectos citotóxicos y letales (Nies, 1999).

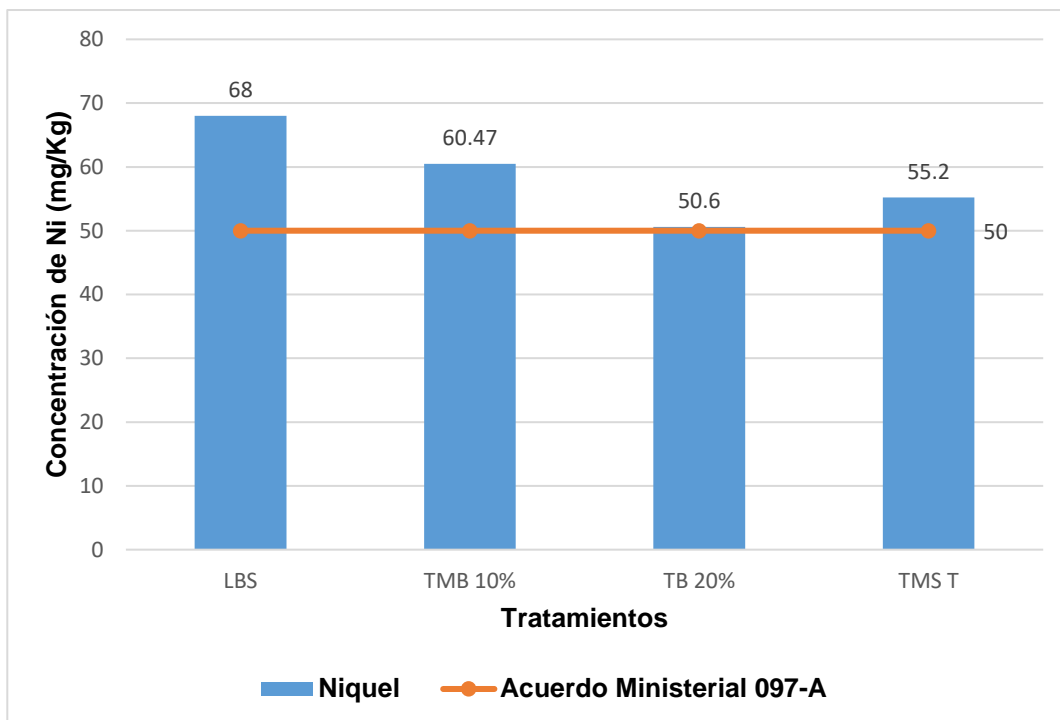
Estudio realizado por Beltrán-Pineda & Gómez-Rodríguez, (2016) determinaron que los procesos con microorganismos conllevan a la disminución de la toxicidad de los metales pesados como es el cadmio mediante la biorremediación, donde interactúan de manera directa la población microbiana, caracterizándose por ser una tecnología de remediación promisorio, económica y efectiva. Además de inmovilizar el metal in situ de este modo (Rajendran et al., 2003).



**Figura 39:** Resultado de la concentración de Cd en la parte inicial, tratamientos y testigo con respecto al Acuerdo Ministerial 097-A.

#### 4.2.7. Concentración de Níquel

Con respecto al níquel se muestran los resultados en la figura 40, evidenciándose una variabilidad en las concentraciones del Ni en el suelo, donde la línea base reflejó la cantidad superior de 68 mg/kg, a partir de ello se demostró una reducción en los tratamientos y el testigo. Cabe destacar que el TB presentó una disminución notoria de este parámetro que los demás, logrando un 50,6 mg/kg. Sin embargo, fue el único valor a aproximarse referente a la tabla 2 del Acuerdo Ministerial 097A. Según Chen et al. (2020) utilizando métodos de remediación para la remoción de níquel y zinc aplicando microorganismos benéficos alcanzaron una eficiencia de 95,78%, 85% y 78,5%. En cuanto al estudio realizado por Nandini et al., (2016) realizando con el método de remediación microbiana logró hasta un 70% de eficacia de remoción de estos metales.



**Figura 40:** Resultado de la concentración de Ni en la parte inicial, tratamientos y testigo con respecto al Acuerdo Ministerial 097-A.

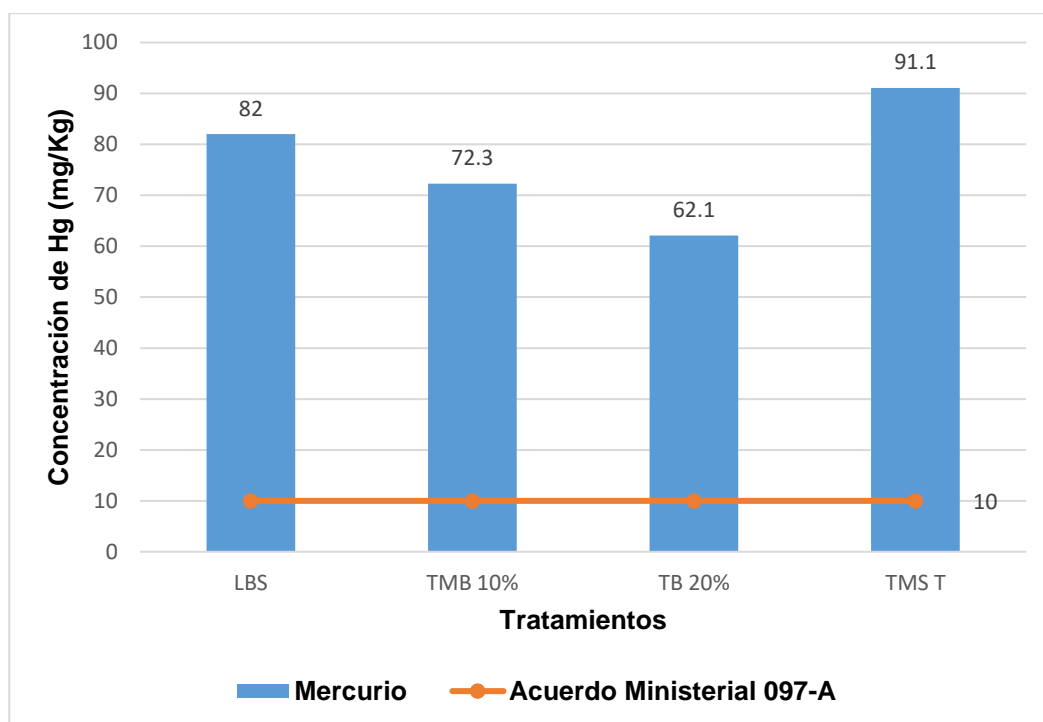
#### 4.2.8. Concentración de Mercurio

Con respecto al parámetro del mercurio, se presentaron los resultados de las concentraciones de éste en la figura 41, donde se utilizaron dos tratamientos con diferente dosificación de bokashi, los cuales, se observaron una disminución de los valores de Hg, registrándose valores de 72,3 mg/kg (TMB 10%) y 62,1 mg/kg (TB 20%), comparándolo con la línea base que mantiene 82 mg/kg. En cuanto al testigo se observó un incremento siendo superado al LBS.

De acuerdo al estudio realizado por Puicon & Hurtado, (2013) afirma que biorremediar suelos con microorganismos utilizando con *Pseudomonas* permitió la capacidad de remediar 100%, 92% y 90% de suelos con Hg, que antes contaban con 10, 50 y 100 ppm de mercurio, sin embargo, los suelos que no se les empleó esta técnica conservaron el mismo porcentaje de remoción. De forma parecida sucede con este autor (Sánchez & Hurtado, 2009), quien utilizó microorganismos con las *Pseudomonas* género, dicho género abunda en los suelos, donde obtuvo una reducción del 84%, los cuales, lograron una capacidad para degradar estos compuestos tóxicos ya que presentan plásmidos y transposones en su genoma, por lo tanto, es un mecanismo potencial para la eliminación de Hg.

Cabe destacar que la concentración alta del mercurio en el suelo se debe a los residuos de los relaves al momento de extraer el oro tienden a liberarse por el recurso

hídrico, siendo este utilizado para abastecer la población de Santa Rosa, donde los análisis realizados por los autores demuestran que en el 2020 el mercurio corresponde a un importe de 0,0471 mg/l, excediéndose los rangos (Angamarca & Valarezo, 2020).

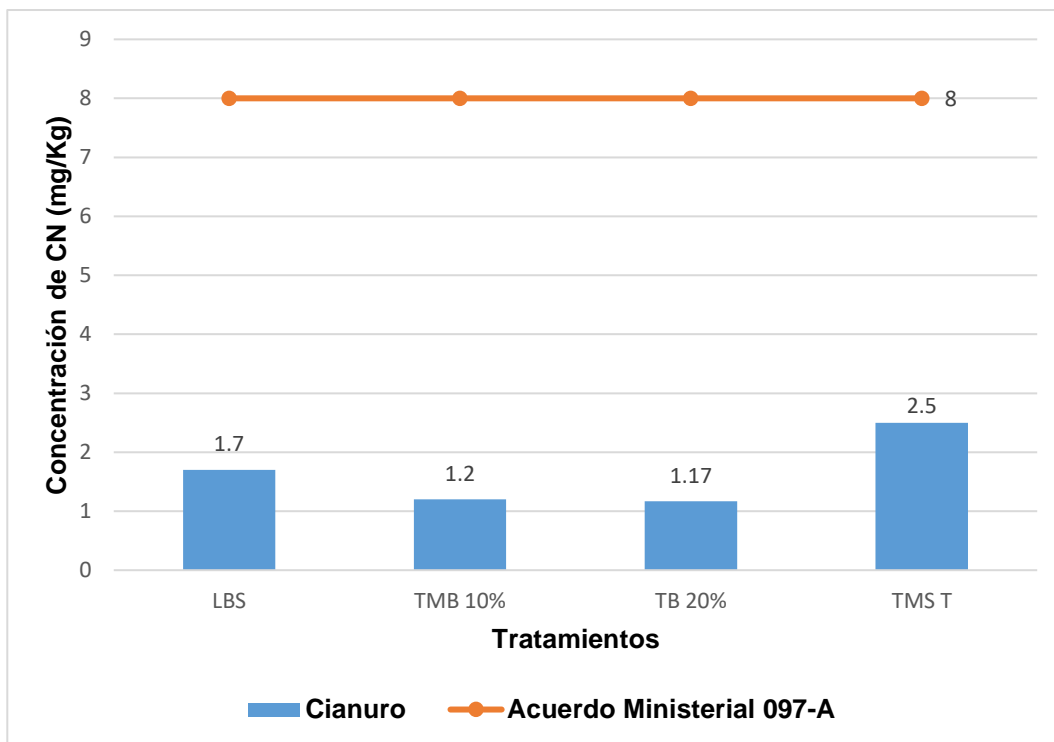


**Figura 41:** Resultado de la concentración de Hg en la parte inicial, tratamientos y testigo con respecto al Acuerdo Ministerial 097-A.

#### 4.2.9. Concentración de Cianuro

En la figura 42 se observan los resultados del cianuro, donde se evidenciaron una reducción en la concentración de este elemento en los tratamientos experimentados que fueron TMB y TB, registrando las cantidades de 1,20 y 1,17 mg/kg correspondientemente, mientras que el testigo se obtuvo la cantidad mayor siendo de 2,5 mg/kg, superando a la línea base (LBS). En cuanto a la normativa ecuatoriana referente al Acuerdo Ministerial 097-A, cumple con el criterio de remediación basado al uso industrial, pero en el criterio de calidad no cumple este parámetro.

La degradación del cianuro puede darse por diferentes procedimientos como la implementación de rayos ultravioleta, de igual manera por tratamientos químicos y sobre todo biológicos como la utilización de microorganismos siendo los más económicos y beneficiosa con el ambiente, muchos de los microorganismos han sido estudiados que tiene un elevado potencial de deterioro del contaminante hasta un 96% de eliminación (Watanabe et al., 1998).

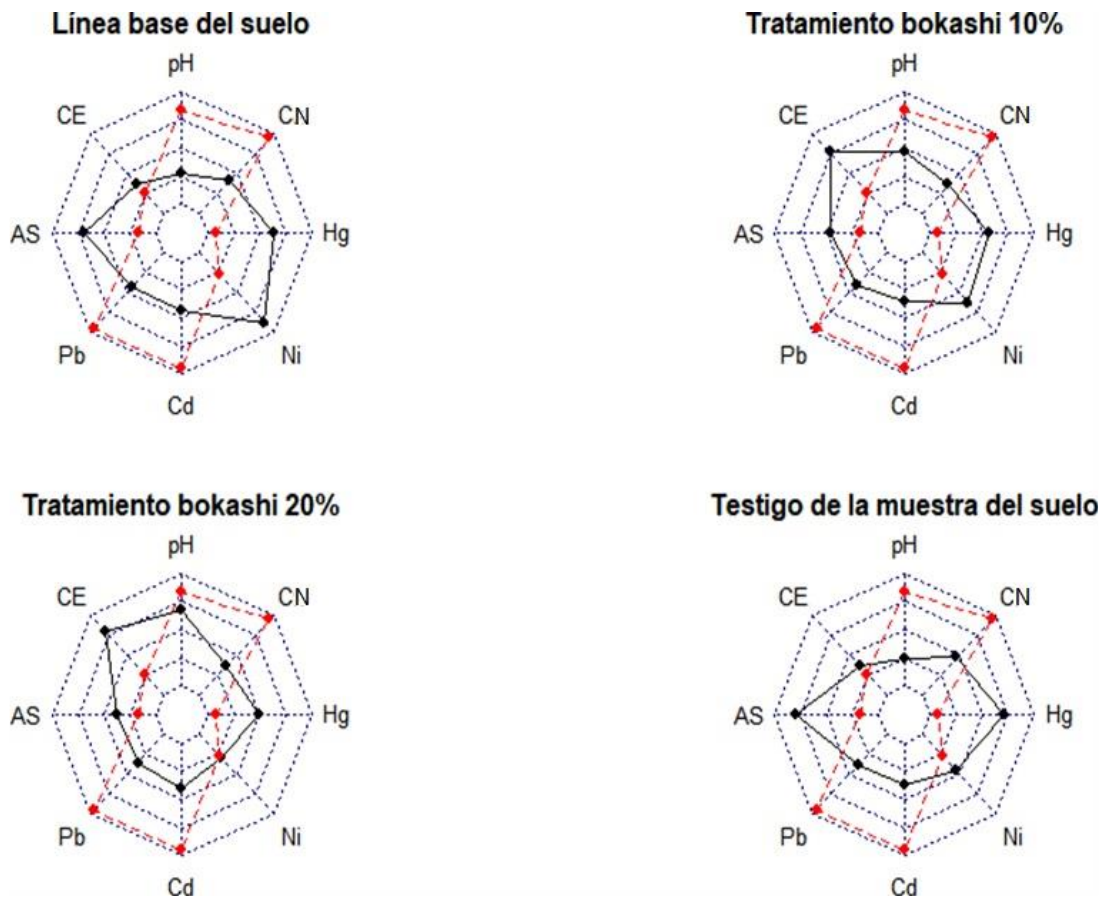


**Figura 42:** Resultado de la concentración de CN en la parte inicial, tratamientos y testigo con respecto al Acuerdo Ministerial 097-A.

Finalmente, se realizó un radar plots general de la línea base (LBS), tratamiento de la muestra bokashi 10% (TMB), tratamiento bokashi 20% (TB) y testigo de la muestra del suelo (TMS) (Figura 43), indicando de manera más concreta los metales que sobresalen y se encuentran dentro de la normativa.

Al realizar una comparación con el radar plots, se evidenció que los metales: arsénico (As) con un valor de 20,2 ppm, cianuro (CN) con un valor de 2,5 ppm y mercurio (Hg) con un valor equivalente de 91,1 ppm, tienden a incrementar en el TMS debido que solamente se aplicó agua libre de cloro a diferencia del LBS, presentándose valores de estos inferiores. Estudio realizado por Angamarca & Valarezo (2020), presentan de forma similar el aumento del arsénico y mercurio en el testigo, sobrepasando los límites máximos permisibles.

En la eficiencia de remoción de estos contaminantes entre los tratamientos, el TMB se destacó mejor en los metales como el cadmio con un valor de 3,1 ppm y cianuro con un valor de 1,2 ppm disminuyen más a diferencia del otro. No obstante, el TB presentó buena efectividad en la eliminación del arsénico, plomo, níquel y mercurio, superando al TMB. Cabe destacar que los 2 tratamientos lograron reducir estos metales, a diferencia que la dosis óptima fue el TB.



**Figura: 43:** Radar plots general de la línea base (LBS), tratamientos (TMB y TB) y el testigo (TM) en relación al Acuerdo Ministerial 097-A.

#### 4.2.10. Carga microbiana

Se evidenció la carga microbiana del suelo en diferentes formas como: línea base suelo sin tratamiento (LBS), suelo con el tratamiento con bokashi al 10% (TMB 10%), suelo con el tratamiento con bokashi al 20% (TB 20%) y la muestra testigo (TMST). En el LBS se han identificado 13 microorganismos los cuales son: *Actinomyces* sp, *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefasciens*, *Bacillus megaterium*, *Cladosporium* spp, *Fusarium* sp, *Geomyces* sp, *Gliomastix* sp, *Pseudomonas fluorescens*, *Streptomyces acromogenes*, *Propionibacterium* sp, *Trichoderma* spp, *Thiobacillus ferrooxidans* (Tabla 8 y Figura 44).

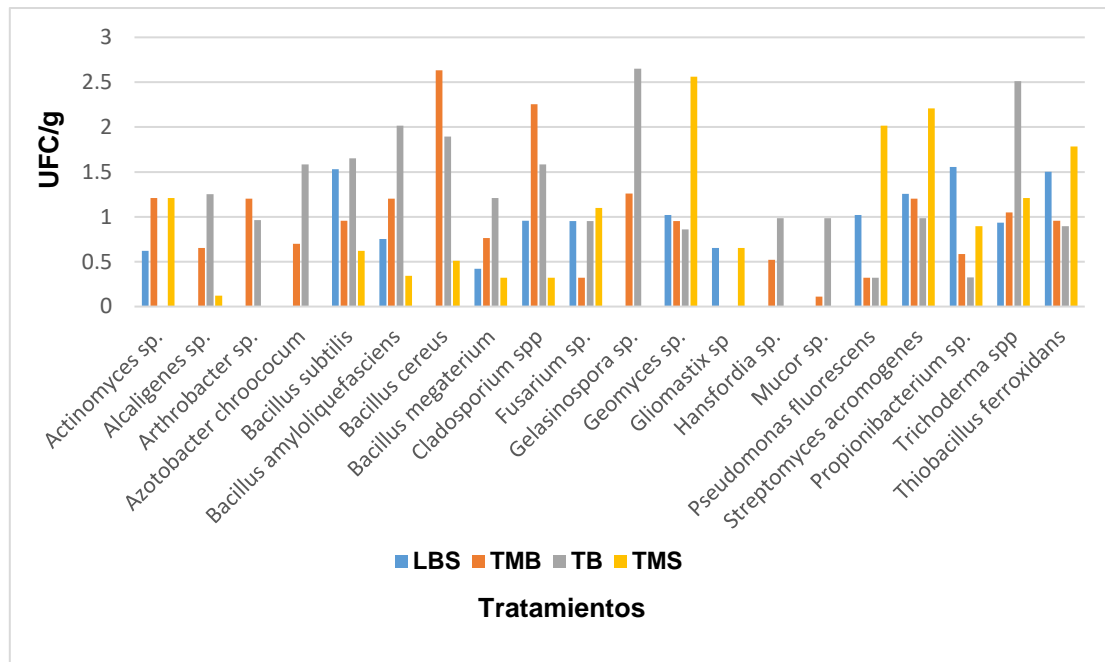
Mientras que en los tratamientos de TMB y TB, se registraron 7 nuevos microorganismos siendo: *Alcaligenes* sp, *Arthrobacter* sp, *Azotobacter chroococum*, *Bacillus cereus*, *Gelasinospora* sp, *Hansfordia* sp, *Mucor* sp. Sin embargo, también se presentaron los mismos mencionados anteriormente en LBS excepto del *Gliomastix* sp. Finalmente, en el testigo se hallaron 15 microorganismos presentes en la muestra del suelo, donde no se identificaron los siguientes: *Arthrobacter* sp, *Azotobacter chroococum*, *Gelasinospora* sp, *Hansfordia* sp, *Mucor* sp (Anexo 4).

De acuerdo con Melnyk et al. (2015) los microorganismos están constituidos por grupos taxonómicos distintos, de acuerdo con Madigan et al., (2015), el consorcio microbiano depende de la especie vegetal que proviene, considerando así de forma directa la variación de diferentes microorganismos benéficos. Es necesario destacar que las condiciones ambientales del lugar es un factor fundamental para el desarrollo exitoso microbiano.

Con respecto al estudio realizado por Boechat et al. (2013), enfatiza que el bokashi al ser mezclado con el suelo, mejora las características del suelo, donde se han evidenciado en base a estudios la eficiencia de este tratamiento que inhabilita el desarrollo de agentes nocivos del suelo, corrigiendo y ayudando a los microorganismos que sean beneficiosos para el suelo. La adición de microorganismos es importante en la descomposición de materia orgánica y procesos valiosos para potenciar, promover y preservar la salud del suelo (Fernández, 2020).

**Tabla 8:** Variación poblacional bacteriológico de la muestra del suelo.

Microorganismos	Muestras			
	LBS	TMB	TB	TMS
<i>Actinomyces</i> sp.	0.6211587	1.2101474	0,6521487	1.2100658
<i>Alcaligenes</i> sp.	n.d.	0.6521458	1.2514584	0.1205471
<i>Arthrobacter</i> sp.	n.d.	1.2012478	0.9652148	n.d.
<i>Azotobacter chroococum</i>	n.d.	0.6988547	1.5848904	n.d.
<i>Bacillus subtilis</i>	1.5291585	0.95784784	1.6521478	0.6201875
<i>Bacillus amyloliquefasciens</i>	0.7521478	1.2012485	2.0145854	0.3412084
<i>Bacillus cereus</i>	n.d.	2.6321488	1.8954509	0.5120147
<i>Bacillus megaterium</i>	0.4211874	0.7652148	1.2085417	0.3201547
<i>Cladosporium</i> spp	0.9547847	2.2541587	1.5848545	0.3210147
<i>Fusarium</i> sp.	0.9510897	0.3214855	0.9520477	1.0986517
<i>Gelasinospora</i> sp.	n.d.	1.2581421	2.6512488	n.d.
<i>Geomyces</i> sp.	1.0211478	0.9532148	0.8601479	2.5621478
<i>Gliomastix</i> sp	0.6521478	n.d.	n.d.	0.6521478
<i>Hansfordia</i> sp.	n.d.	0.5214784	0.9854753	n.d.
<i>Mucor</i> sp.	n.d.	0.1114784	0.9854754	n.d.
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	1.0214578	0.3214754	0.3201258	2.0148547
<i>Streptomyces acromogenes</i>	1.2547859	1.2011947	0.9865471	2.2101478
<i>Propionibacterium</i> sp.	1.5547056	0.5845798	0.3251475	0.8954757
<i>Trichoderma</i> spp	0.9365314	1.04984784	2.5125475	1.2101487
<i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	1.5012487	0.9562147	0.8954578	1.7845498



**Figura 44:** Análisis microbiano de la línea base, tratamientos y el testigo del suelo.

### 4.3. Evaluación del crecimiento de las plantas de maíz al suelo remediado mediante la rizosfera de maíz utilizando bokashi

Dentro de esta evaluación se consideraron los siguientes parámetros: porcentaje de germinación, longitud de la raíz, altura del tallo, peso húmedo de la raíz, peso seco de la raíz, peso húmedo del tallo y peso seco del tallo.

Cabe destacar que todos los parámetros mencionados anteriormente se realizó un análisis estadístico en cada uno de ellos excepto el porcentaje de germinación, considerando la parte descriptiva que conlleva los valores máximos y mínimos, la media, desviación estándar, coeficiente de variación y la parte inferencial que corresponde al análisis del ANOVA y prueba de Tukey, basándose en las variables de los dos tratamientos empleados acompañado del testigo.

#### 4.3.1. Porcentaje de germinación

Acerca del porcentaje de germinación en los dos tratamientos (TB y TMB) lograron un valor del 100% de las 9 semillas de maíz sembradas en cada uno, considerando que los tratamientos tuvieron diferente dosificación de bokashi. Cabe destacar que ambos coincidieron con el día de la germinación, indicando que el 06 de junio se dio la siembra de las semillas y a partir del transcurso de los días, específicamente el 11 de junio, se visualizó una raíz blanca en los 18 recipientes dado así por completo esta etapa. De acuerdo con el estudio realizado por Sarmiento et al., (2019), demuestran que reconocen los efectos beneficiosos de aplicar bokashi y

microorganismos eficientes (EM) al suelo promoviendo a la restauración y mejoramiento de la fertilidad a través de la actividad microbiana, contribuyendo en aumentar el proceso de la rizosfera y aportando en las tasas de absorción de nutrientes.

Con respecto a esta fase en el tratamiento testigo (TMS) se dio en el día 16 de junio, siendo más tardía en comparación al TB y TMB, donde se evidenció la cantidad de germinación del 44,44% de un total de 9 semillas de maíz, en vista de que solamente germinaron 4 semillas (2 en la primera caja y 1 en la segunda y tercera). Es necesario acotar que a estas muestras se adicionaron dosis de agua libre de cloro durante toda la experimentación, apreciando visualmente una toxicidad en las semillas. Estudio realizado por Ruiz & Armienta, (2012) afirman que la inhibición del crecimiento se da cuando existen elevadas concentraciones de contaminantes en el suelo ocasionando un efecto fitotóxico.

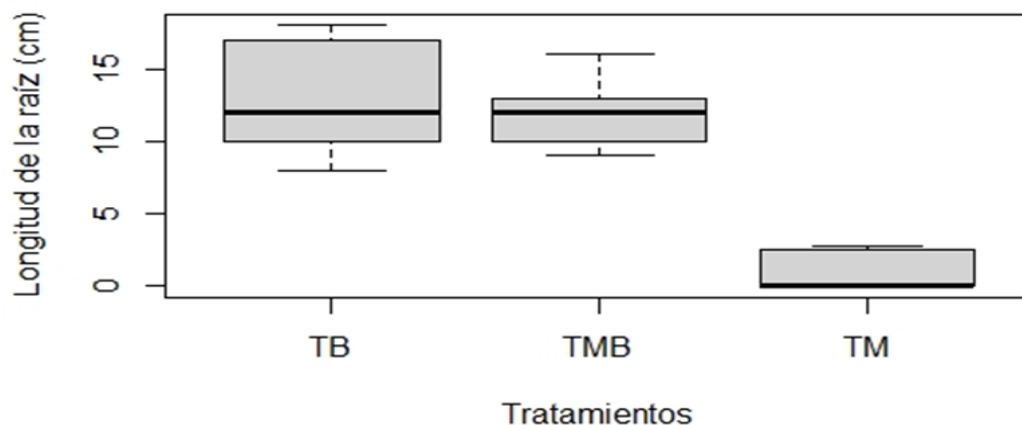
#### 4.3.2. Longitud de la raíz

La Tabla 9, indica los resultados estadísticos descriptivos de la longitud de raíz, presentando el TB con valores mayores como máximos, media, desviación estándar y coeficiente de variación, en comparación con el TMB fueron cantidades menores. Sin embargo, el TM se evidenció que en el coeficiente de variación resultó ser de 1,202% situándose superior a los demás, donde existe una variabilidad muy alta.

**Tabla 9:** Parámetros estadísticos de la longitud de raíz

Semilla	Tratamientos	Repeticiones	Mínimo	Máximos	Media	Desviación Estándar (SD)	Coficiente de Variación (%)
Maíz Híbrido DEKALB-7508.	TB	3	8	18	12,889	3,790	0,294
	TMB	3	9	16	11,889	2,315	0,195
	TM	3	0	2,8	1,111	1,336	1,202

En cuanto a los valores mínimos, máximos y media de las tres variables fueron representativos en el diagrama de cajas detallada en la figura 44, donde el TB presentó mejor desarrollo radicular, es decir, que las raíces obtuvieron mayor longitud a diferencia de los dos tratamientos, mientras que en la caja del TMB alcanzó una media correspondiente de 11,889 en longitud radicular.



**Figura 45:** Distribución de la longitud de raíz de planta de maíz en centímetros.

Dentro del análisis del ANOVA de la longitud de la raíz, se obtuvieron 24 grados de libertad, el factor F fue de 53,541 y la probabilidad de 1,419E-09, donde se consideró en rechazar la hipótesis nula y se aceptar la alternativa, esto se debe que la probabilidad fue menor a la significancia ( $p < 0,05$ ), así como también  $F > p$  (Tabla 10).

**Tabla 10:** Anova de la longitud de la raíz.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedios de los cuadrados	F	Probabilidad
Tratamientos	2	767,63	383,81	53,541	1,419E-09
Residuos	24	172,05	7,17		

Con respecto a la prueba de Tukey permitió en la comprobación de la aceptación de la hipótesis alternativa, donde se obtuvo una diferencia honestamente significativa (HSD) de 3,15, este valor logró diferenciar entre los grupos de tratamientos, evidenciándose que los tratamientos de TM-TB y TMB-TM fueron significativamente debido por ser mayor a HSD y a su vez los valores de cada uno de ellos son diferentes y el TMB-TB se presentó una decisión no significativa dado que comparte una similitud en los registros de la longitud (Tabla 11).

El estudio realizado por Jara et al. (2014), presenta los mismos resultados donde sí existieron diferencias significativas en los tratamientos frente a las concentraciones de acumulación de Pb, Zn, Cd en 5 especies monitoreadas (*Solanum nitidum*, *Brassica rapa*, *Fuertesumalva echinata*, *Urtica urens*, *Lupinus ballianus*), estas poseen una técnica fitoestabilizadoras de estos metales pesados.

**Tabla 11:** Prueba Tukey de la longitud de la raíz.

Tratamientos	Prueba Tukey Diferencia Muestral	Decisión
TM-TB	-11,77 > 3,15	Significativa
TMB-TB	-1 < 3,15	No significativa
TMB-TM	10,77 > 3,15	Significativa

#### 4.3.3. Altura del tallo

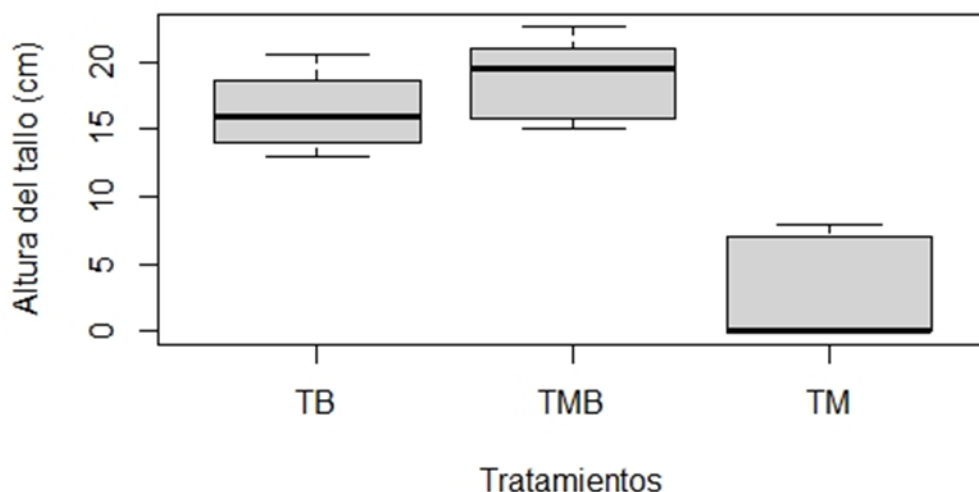
Acercas de la altura del tallo se presentaron los resultados de los máximos y mínimos, media, desviación estándar y coeficiente de variación en los dos tratamientos empleados y el testigo de la muestra, demostrándose en la tabla 12. Cabe destacar que el TM se evidenció que la desviación y el coeficiente fueron superiores a los dos tratamientos debido a que los valores registrados en el testigo fueron diferentes.

En comparación al desarrollo de este parámetro con el estudio elaborado por Munive et al. (2018), utilizando la misma especie plantas de maíz, pero aplicando diferentes tratamientos como compost y vermicompost en suelos con Pb y Cd de diferentes localidades, se apreció mejor resultados dado que se evaluaron dentro de un período de 4 meses y en cuanto a la aplicabilidad de las técnicas mencionadas anteriormente permitió el buen desarrollo de éstas.

**Tabla 12:** Parámetros estadísticos de la altura del tallo.

Semilla	Tratamientos	Repeticiones	Mínimos	Máximos	Media	Desviación Estándar (SD)	Coefficiente de Variación (%)
Maíz	TB	3	13	20,6	16,256	2,678	0,165
Híbrido DEKALB- 7508.	TMB	3	15	22,6	18,956	2,931	0,155
	TM	3	0	8	3,333	3,969	1,191

En la figura 46 corresponde al diagrama de cajas de la altura del tallo, donde el TMB se destacó por ser el mejor tratamiento registrando un mínimo de 15 cm y su máximo de 22,6 cm y una media de 18,9 cm teniendo una mayor acumulación de datos por debajo de su media, en cambio, en el TB se obtuvieron datos predominantes en la parte superior de su media (16,25 cm) y el testigo con una media sumamente baja dado que se evidenció que los tratamientos que recibieron el bokashi presentan mejores resultados a diferencia de éste. De acuerdo con la publicación realizada por Munive et al. (2020), los resultados detallados de la altura del tallo del girasol fueron mejores en comparación con esta investigación debido al tiempo de crecimiento de la plántula y a su vez de diferente especie como fue el maíz.



**Figura: 46:** Comparación de la altura del tallo en centímetros de los tratamientos y testigo.

En la Tabla 13 se presenta el resultado obtenido del análisis del ANOVA, donde consiguieron 24 grados de libertad en los dos tratamientos, el factor F fue de 59,74 y la probabilidad de 4,8E-10. Es necesario acotar se rechaza la nula y la alternativa se acepta esto se debe que la probabilidad fue menor al valor de la significancia ( $p < 0,05$ ), con respecto al mismo acontecimiento también se consideró que el factor F fue mayor a p.

**Tabla 13:** Anova de la altura del tallo.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad
Tratamientos	2	1255	627,5	59,74	4,8E-10
Residuos	24	252,1	10,5		

Sin embargo, se realizó la comprobación de la aceptación de la hipótesis alternativa mediante la prueba de Tukey, obteniendo una diferencia honestamente significativa (HSD) de 3,81, cuyo valor permitió demostrar las diferencias entre los grupos de tratamientos, evidenciándose que los tratamientos de TM-TB y TMB-TM fueron significativamente debido por ser mayor a HSD y a su vez las cantidades de cada uno son diferentes, en cambio, en el TMB-TB obtuvo una decisión no significativa, es decir, que los valores registrados en el TMB y TB tienen un parentesco (Tabla 14).

Estudio realizado por Munive et al. (2020), presentaron de forma similar diferencias significativas con respecto a este parámetro, destacando que los tratamientos utilizados por compost su desarrollo es tardío, mientras que los tratamientos aplicados con vermicompost no hubo estas diferencias en la altura del girasol.

**Tabla 14:** Prueba Tukey de la altura del tallo.

Tratamientos	Prueba Tukey Diferencia Muestral	Decisión
TM-TB	-12,92 > 3,81	Significativa
TMB-TB	2,70 < 3,81	No significativa
TMB-TM	15,62 > 3,81	Significativa

#### 4.3.4. Peso húmedo de la raíz

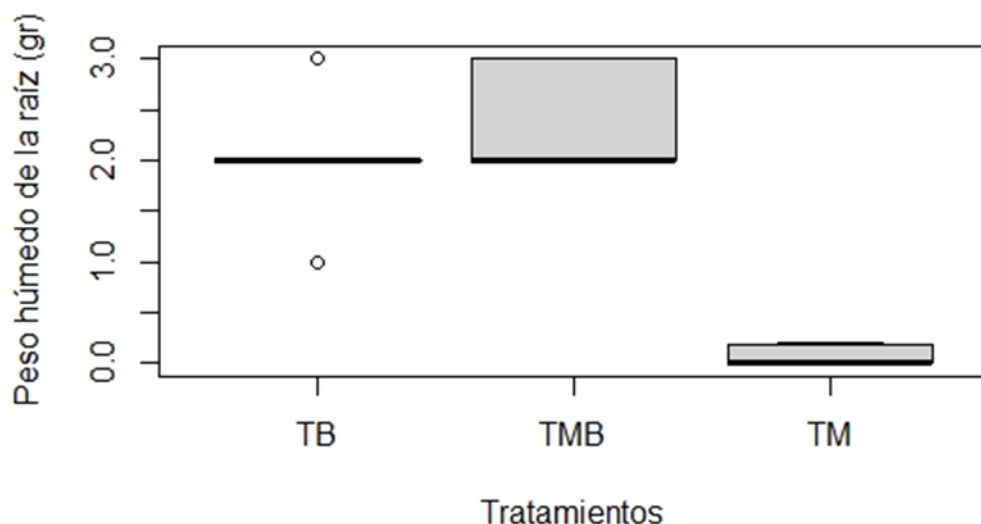
Para este parámetro se realizaron 3 repeticiones en los tratamientos con diferentes dosificaciones y el testigo, donde la tabla 15 muestran los valores mínimos, máximos en cada uno de ellos, de igual manera se obtuvieron las medias siendo el TMB con el resultado mayor que las otras, mientras que en la desviación estándar el TB registró la cantidad superior de 0,601 y finalmente el coeficiente de variación el TM alcanzó el 118,656%.

En lo referente, al parámetro destacado, se comparó los resultados de éste con la investigación proporcionada por (Alvarez, 2018) donde los tratamientos aplicados con microorganismos benéficos resultaron ser favorable en el desarrollo radicular ya sea en longitud y peso fresco y seco, sin embargo, el testigo su crecimiento fue lentamente, puntuándose con valores inferiores.

**Tabla 15:** Parámetros estadísticos del peso húmedo de la raíz.

Semilla	Tratamientos	Repeticiones	Mínimo	Máximos	Media	Desviación Estándar (SD)	Coefficiente de Variación (%)
Maíz	TB	3	1	3	2,111	0,601	0,285
Híbrido DEKALB-	TMB	3	2	3	2,333	0,500	0,214
7508.	TM	3	0	0,2	0,087	0,103	1,187

En la figura 47 se presenta el diagrama de cajas del peso húmedo de la raíz, donde el TB se obtuvieron dos valores atípicos siendo de 1 y 3 gr debido que estos fueron los únicos números registrados en la experimentación, mientras que en la caja del TMB se evidenció que existen variabilidad en valores de 2 y 3 gr y en cuanto al testigo (TM) alcanzó una cantidad máxima de 0,20 gr.



**Figura 47:** Comparación de los tratamientos del peso húmedo de la raíz en gramos, con dispersión de datos en el TB.

La tabla 16 se presenta el resultado del análisis del ANOVA, donde se obtuvieron 24 grados de libertad, el factor F fue 66,56 y la probabilidad de 1,61E-10, tomando una decisión de rechazar la  $H_0$  y aceptar la  $H_1$  debido que la probabilidad fue menor a la significancia ( $p < 0,05$ ), así como también  $F > p$ .

**Tabla 16:** Anova del peso húmedo de la raíz.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad
Tratamientos	2	27,586	13,793	66,56	1,61E-10
Residuos	24	4,973	0,207		

Para la comprobación de la aceptación de la hipótesis alternativa se realizó la prueba de Tukey, donde se obtuvo una diferencia honestamente significativa (HSD) de 0,54, este valor permitió conocer los grupos de tratamientos que se encuentra con diferencia, evidenciándose que los tratamientos de TM-TB y TMB-TM fueron significativamente debido por ser mayor a HSD y el TMB-TB fue menor, tomando una decisión no significativa (Tabla 17).

**Tabla 17:** Prueba Tukey del peso húmedo de la raíz.

Prueba Tukey		
Tratamientos	Diferencia muestral	Decisión
TM-TB	-2,02 > 0,54	Significativa
TMB-TB	0,22 < 0,54	No significativa
TMB-TM	2,24 > 0,54	Significativa

#### 4.3.5. Peso seco de la raíz

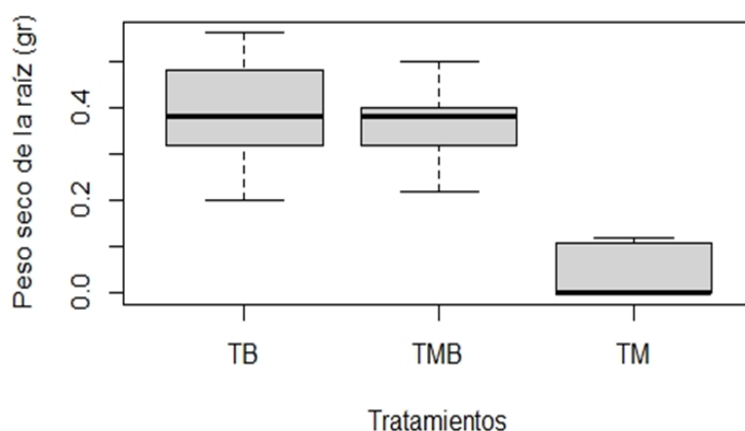
En lo referente, al peso seco de la raíz los resultados de la estadística descriptiva se reflejan en la tabla 18, indicando que el TB presentó una media superior a los demás con un valor equivalente de la media de 0,387 y de igual forma la desviación estándar considerando una variabilidad baja entre sus datos, en este caso el testigo (TM) se destacó en el coeficiente de variación cuya cantidad es de 1,187% evidenciándose una alta heterogeneidad de sus datos.

Munive et al. (2018), menciona que se evaluó este mismo parámetro destacándose mejor el tratamiento con bokashi, además afirma que adicionar compost al suelo se obtiene muchos efectos beneficiosos, como proporcionar nutrientes, fomentar el desarrollo de las raíces e introducir microorganismos beneficiosos en el suelo que participan en varios ciclos de nutrientes.

**Tabla 18:** Parámetros estadísticos del peso seco de la raíz.

Semilla	Tratamientos	Repeticiones	Mínimo	Máximos	Media	Desviación Estándar (SD)	Coefficiente de Variación (%)
Maíz Híbrido DEKALB-7508.	TB	3	0,2	0,56	0,387	0,132	0,342
	TMB	3	0,22	0,5	0,359	0,088	0,245
	TM	3	0	0,12	0,050	0,059	1,187

En la figura 48 se presenta el boxplot del peso seco de la raíz, donde el TB se identificó valores mínimos y máximos de 0,22 y 0,56 gr respectivamente. Por otra parte, el TMB presentó una media de 0,359 gr, permitiendo visualizar que los valores se encuentran más por debajo de su media. En cuanto a la caja del TM se evidenció ser inferior a los dos tratamientos.



**Figura 48:** Peso seco de la raíz en gramos, donde TB y TMB presentan medias similares.

La Tabla 19 se presenta el resultado del análisis del ANOVA, donde se obtuvieron 24 grados de libertad, el factor F fue 32,76 y la probabilidad de 1,38E-07, considerando que se rechaza la  $H_0$  y se acepta la  $H_1$  debida que la probabilidad fue menor a la significancia ( $p < 0,05$ ), así como también  $F > p$ .

**Tabla 19:** Anova del peso seco de la raíz.

	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>
Tratamientos	2	0,628	0,314	32,76	1,38E-07
Residuos	24	0,23	0,009		

Para la comprobación de la aceptación de la hipótesis alternativa se realizó la prueba de Tukey, donde se obtuvo una diferencia honestamente significativa (HSD) de 0,12, este valor permitió conocer los grupos de tratamientos que se encuentra con diferencia, evidenciándose que los tratamientos de TM-TB y TMB-TM fueron significativamente debido por ser mayor a HSD y el TMB-TB fue menor con un valor de  $0,02 < 0,12$  tomando una decisión no significativa (Tabla 20).

Valores obtenidos por el estudio realizado por Neyra et al. (2013), concuerdan con la existencia de diferencias significativas de este parámetro, esto se debe a las moléculas promotoras del crecimiento presentes en la rizosfera o el tejido vegetal, lo que facilita el progreso de las raíces y los tallos a través de la absorción de nutrientes.

**Tabla 20:** Prueba Tukey del peso seco de la raíz.

<b>Prueba Tukey</b>		
<b>Tratamientos</b>	<b>Diferencia muestral</b>	<b>Decisión</b>
TM-TB	$0,33 > 0,12$	Significativa
TMB-TB	$0,02 < 0,12$	No significativa
TMB-TM	$0,30 > 0,12$	Significativa

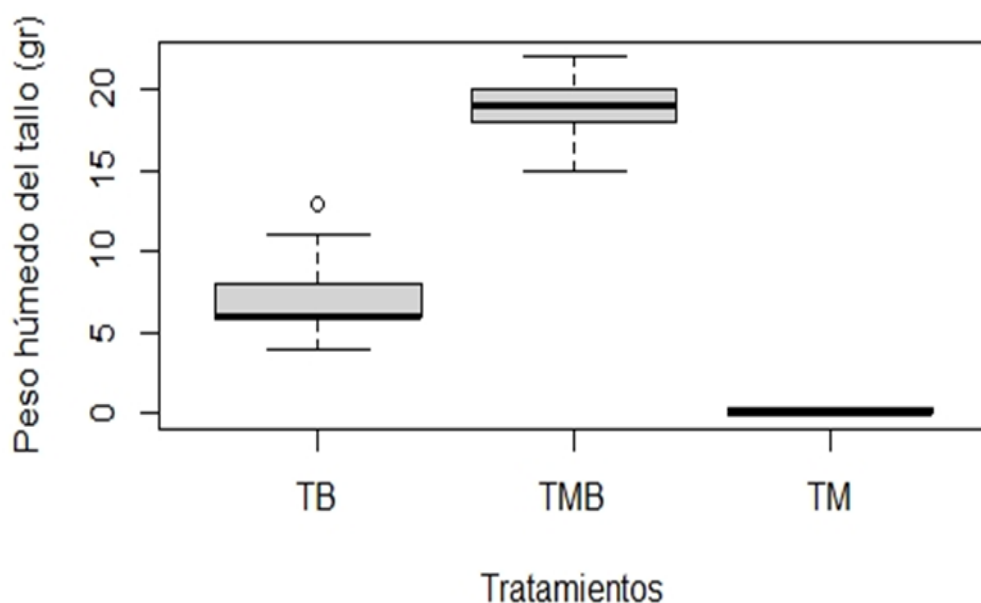
#### **4.3.6. Peso húmedo del tallo**

Acerca del peso húmedo del tallo los resultados se manifiestan en la tabla 21 donde el tratamiento TMB fue el mejor destacado debido que se obtuvieron valores superiores en los mínimos de 15 gr, máximos de 22 gr y la media de 18,778 con una diferencia en el TB y TM. Sin embargo, la desviación estándar más elevada presentó el TB con una cantidad de 2,833, indicando una dispersión alta entre los datos monitoreados durante la experimentación. Finalmente, el coeficiente de variación con mayor variabilidad correspondió al TM, siendo de 1,189%.

**Tabla 21:** Parámetros estadísticos del peso húmedo del tallo.

Semilla	Tratamientos	Repeticiones	Mínimo	Máximos	Media	Desviación Estándar (SD)	Coefficiente de Variación (%)
Maíz Híbrido DEKALB-7508.	TB	3	4	13	7,444	2,833	0,381
	TMB	3	15	22	18,778	2,108	0,112
	TM	3	0	0,4	0,170	0,202	1,189

Dentro de la estadística descriptiva se realizó el diagrama de cajas visualizándola en la figura 48, donde se evidenció que el TB presentó un valor atípico, lo que significa que fue el único valor fuera de la media (13 gr). Con respecto al TMB reflejó una media superior a TB y TM con un valor equivalente a 18,778. Por último, el TM se obtuvieron datos demasiado bajos y cercanos dado que solamente crecieron 5 plantas de maíz y registraron cantidades menores, por ende, no se visualiza este diagrama perfectamente.



**Figura: 49:** Comparación de los tratamientos y testigo del peso húmedo del tallo en gramos, donde TB presenta datos atípicos.

En la tabla 22 se representa el resultado del análisis del ANOVA, donde se obtuvieron 24 grados de libertad, el factor F fue de 189,7 y la probabilidad de  $1,96E-15$ , tomando una decisión en rechazar la hipótesis nula dado que el nivel de significancia ( $p < 0,05$ ) fue menor al valor reflejado de la probabilidad, así como también se exceptúa la  $H_0$  cuando el factor F es mayor a p y por ende se aceptó la alternativa ( $H_1$ ).

**Tabla 22:** Anova del peso húmedo del tallo.

	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Promedio de los cuadrados</b>	<b>F</b>	<b>Probabilidad</b>
Tratamientos	2	1582,8	791,4	189,7	1,96E-15
Residuos	24	100,1	4,2		

Una vez realizado el análisis del ANOVA, se procedió a verificar la aceptación de la hipótesis alternativa, donde se obtuvo una diferencia honestamente significativa (HSD) de 2,40, determinando la diferencia que existe entre los grupos de tratamientos planteados en esta investigación, comprobándose que en todos los emparejamiento de los tratamientos (TM-TB, TMB-TB y TMB-TM) fueron significativamente debido por ser mayor al HSD y a su vez sus datos registrados en este parámetro existieron disimilitud en cada uno de ellos (Tabla 23).

De acuerdo con el estudio realizado por Ruiz & Armienta, (2012) quienes afirman que estos comportamientos se deben por estar expuestos a concentraciones de los contaminantes en el suelo, trayendo como consecuencia la disminución del desarrollo de la planta.

**Tabla 23:** Prueba Tukey del peso húmedo del tallo.

<b>Tratamientos</b>	<b>Prueba Tukey</b>	
	<b>Diferencia Muestral</b>	<b>Decisión</b>
TM-TB	-7,27 > 2,40	Significativa
TMB-TB	11,33 > 2,40	Significativa
TMB-TM	18,60 > 2,40	Significativa

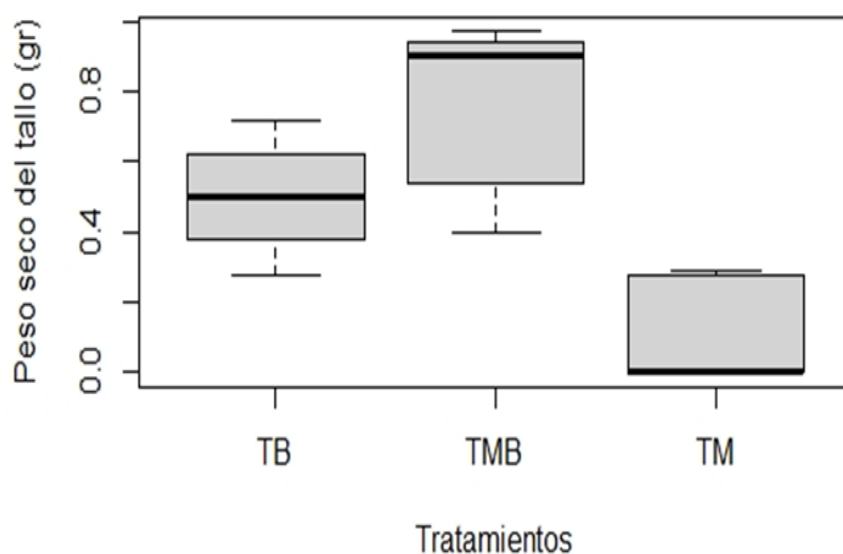
#### 4.3.7. Peso seco del tallo

La Tabla 24 se detallan los resultados del peso seco del tallo, donde el TMB cuenta con la mayor cantidad de datos en los que predominan con la media y desviación estándar superior al TB y TM, mientras que el TM sobrepasó el coeficiente de variación que los otros.

**Tabla 24:** Parámetros estadísticos del peso seco del tallo.

<b>Semilla</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>Repeticiones</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximos</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Estándar (SD)</b>	<b>Coefficiente de Variación (%)</b>
Maíz	TB	3	0,28	0,72	0,509	0,156	0,306
Híbrido DEKALB-7508.	TMB	3	0,4	0,97	0,767	0,245	0,320
	TM	3	0	0,29	0,123	0,146	1,187

En la figura 50 detalla el diagrama de cajas del peso seco del tallo, indicando que el TB y TMB se encuentran superiores al TM, demostrando que el TMB la mayor presencia de sus datos se registran por debajo de su media. De acuerdo con los resultados hallados de este parámetro en el estudio de Munive et al. (2018) fueron diferentes a esta investigación debido al tiempo de experimentación y a su tratamiento, aclarando que con la aplicabilidad de las enmiendas acondicionan de forma óptima mejorando las condiciones nutritivas del suelo y la actividad microbiana y enzimas del compost y vermicompost resultan ser excelentes.



**Figura 50:** Diagrama de cajas del peso seco del tallo en gramos.

En la Tabla 25 se presenta el resultado del análisis del ANOVA, donde se obtuvieron 24 grados de libertad, el factor F fue de 26,73 y la probabilidad de 7,83E-07, considerando rechazar la nula y aceptar la alternativa debida que la probabilidad fue menor a la significancia ( $p < 0,05$ ), así como también  $F > p$ .

**Tabla 25:** Anova del peso seco del tallo.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad
Tratamientos	2	1,886	0,943	26,73	7,83E-07
Residuos	24	0,847	0,035		

Sin embargo, la comprobación de la aceptación de la hipótesis alternativa se realizó la prueba de Tukey, donde se obtuvo una diferencia honestamente significativa (HSD) de 0,22 este valor permitió conocer los grupos de tratamientos que se encuentra con diferencia, evidenciándose que los 3 grupos de los tratamientos fueron

significativamente debido a la disimilitud de los datos registrados. Resultados semejantes a los hallados en este estudio fueron reportados por Neyra et al. (2013) quienes determinaron el efecto del crecimiento de *Capsicum annum* con la inoculación de *Rhizobium etli* y *Trichoderma viride*, estos microorganismos favorecieron a la masa seca de las raíces y los tallos, aumentando sus moléculas promotoras del crecimiento, estando presentes en el rizoma o tejido vegetal logrando así estimular para el desarrollo de ello a través de la absorción de nutrientes.

**Tabla 26:** Prueba Tukey del peso seco del tallo.

<b>Tratamientos</b>	<b>Prueba Tukey</b>	
	<b>Diferencia Muestral</b>	<b>Decisión</b>
TM-TB	0,38 > 0,22	Significativa
TMB-TB	0,25 > 0,22	Significativa
TMB-TM	0,60 > 0,22	Significativa

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los análisis realizados en la línea base, se determinó valores de conductividad eléctrica (1120) (4,20), arsénico (18,75 mg/kg), níquel (68 mg/kg) y mercurio (82 mg/kg), los cuales sobrepasan los límites permisibles establecidos de calidad del suelo de uso agrícola en el Acuerdo Ministerial 097-A; en los parámetros biológicos se identificaron 13 géneros de microorganismos, 3 de los cuales presentaron una similitud en sus valores: *Bacillus subtilis*, *Propionibacterium sp.* y *Thiobacillus ferroxidans*.
- Los resultados de la aplicación de los tratamientos para la remediación del suelo con contaminantes metálicos presentan que, el tratamiento TB, con dosis de bocashi al 20% alcanzó el mayor porcentaje de remoción en arsénico (21,5%), plomo (15,2%), níquel (25,6%), mercurio (24,3%) y cianuro (31%); en tanto que, el cadmio alcanzó un 22,5% con el tratamiento de bokashi al 10%, siendo menor el obtenido con el tratamiento al 20%, esto se debe al aumento de la carga microbiana, que, posiblemente ayudo a inmovilizar y disminuir los contaminantes.
- Se evaluó la germinación de las semillas, obteniendo un mejor resultado con los tratamientos aplicados donde ambos germinaron de forma similar en los días y cuyo valor porcentual fue de 100%. Sin embargo, el testigo solamente desarrolló 4 de las 9 semillas, registrando una cantidad del 44,44%, esto se debe las altas concentraciones de los contaminantes pesados en el suelo inhiben el desarrollo de las otras semillas.
- Sobre los parámetros de desarrollo de la planta de maíz como longitud, peso seco y peso húmedo de la raíz, de forma similar en los pesos y altura del tallo, se puede señalar que, la longitud y peso seco de la raíz presentó superioridad en el tratamiento aplicado al TB (tratamiento con bocashi al 20%) y en el TMB (tratamiento con bocashi al 10%) influyó más en el peso húmedo. En cuanto al desarrollo del tallo, el tratamiento TMB destacó en las 3 dimensiones mencionadas. En todos los parámetros considerados, el testigo presentó valores inferiores significativos a los tratamientos empleados, los cuales se determinaron mediante el análisis estadístico realizado.

## **CAPÍTULO VI**

### **6. RECOMENDACIONES**

De los resultados obtenidos en la presente investigación se establecen las siguientes recomendaciones:

- Evaluar otras dosis de bokashi en el tratamiento de suelos contaminados por actividades mineras.
- Evaluar microorganismos líquidos en la remediación de suelos.
- Realizar análisis de la concentración de los contaminantes en la raíz, tallos y hojas de la planta para comparar la eficiencia en la remediación.
- Determinar el desarrollo de otras especies vegetales en suelos contaminados por minería con otras dosis de bokashi para comparar los datos realizados en esta investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades. (1999). ATSDR - Mercurio. In División de Toxicología y Ciencias de la Salud (p. 8). [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs46.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs46.pdf)
- Alcivar, E. (2013). Manejo de los desechos sólidos en la provincia de el Oro y si impacto ambiental en los ecosistemas. (Issue 55). <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/2949>
- Alméciga, A., & Muñoz, M. (2013). pH, Historia de un concepto. Análisis en texto de educación superior. In Universidad Pedagógica Nacional. <http://repositorio.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/297/TO-16386.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alonso-Arena, J. A., Carbajal-Armenta, A., Castañeda-Antonio, D., Morales-García, Y. E., Bustillos- Cristales, M. del R., Morales-Sandoval, P. I., Santamaría-Juárez, J. D., & Munguía-Pérez, R. (2019). La biorremediación en la eliminación de níquel en un suelo contaminado. *Alianzas y Tendencias-BUAP*, 4(14), 30–48. [www.latindex.unam.mx](http://www.latindex.unam.mx)
- Alvarez-Vera, M., Largo, A., Iglesias-Abad, S., & Castillo, J. (2019). Quality of compost obtained from hen manure, with application of beneficial microorganisms. *Scientia Agropecuaria*, 10(3), 353– 361. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.03.05>
- Alvarez, M. (2018). Caracterización de microorganismos benéficos provenientes de tres pisos altitudinales de Azuay.Ecuador y su influencia en el cultivo de fresa. [Universidad Nacional Agraria la Molina]. <http://www.lamolina.edu.pe/postgrado/?p=15146>
- Alvarez, M., Tucta, F., Quispe, E., & Meza, V. (2018). Incidencia de la inoculación de microorganismos benéficos en el cultivo de fresa (*Fragaria sp.*). *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 33–42.
- Álvarez, O., & Gámez, E. (2004). Evaluación del efecto del bokashi como fertilizantes en cuatro dosis crecientes medido mediante un bioensayo en plantas de sorgo. [Universidad EARTH]. [http://www.em-la.com/archivos-de-usuario/base\\_datos/bioensayo\\_en\\_plantas\\_sorgo.pdf](http://www.em-la.com/archivos-de-usuario/base_datos/bioensayo_en_plantas_sorgo.pdf)
- Andrades, M., & Martínez, M. E. (2022). Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. (Cuarta edi).
- Angamarca, D. J., & Valarezo, L. A. (2020). Determinación de la contaminación del recurso hídrico provocado por la actividad minera en la cuenca alta del río Santa Rosa, provincia de El Oro [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19334/1/UPS-CT008839.pdf>
- Asamblea Nacional Ecuador. (2018). Ley de minería Ecuador (p. 65).
- Badia, D. (1992). Suelos afectados por sales. XIII. <https://publicacions.iec.cat/repository/pdf/00000120/00000090.pdf>

- Bautista, A., Etchevers, J., Castillo, R., & Gutiérrez, C. (2007). La calidad del suelo y sus indicadores.
- Brain and Nerve, 59(8), 825–830.
- Beltrán-Pineda, M. E., & Gómez-Rodríguez, A. M. (2016). Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg), mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: una revisión. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 12(2), 172–197. <https://doi.org/10.18359/rfcb.2027>
- Benimeli, M., Plasencia, A., Corbella, R., Guevara, D., Sanzano, A., Sosa, F., & Fernández, J. (2019). El nitrógeno del suelo. 1–11. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v9n46/2007-1132-remcf-9-46-4.pdf>
- Berrios, B., & Villegas, E. (2020). Eficiencia del uso de bocashi para la nutrición del suelo agrícola en una parcela unifamiliar en Ilo, Moquegua. In Dirección general de Investigación. Universidad Peruana Unión.
- Boechat, C. L., Santos, J. A. G., & Accioly, A. M. de A. (2013). Net mineralization nitrogen and soil chemical changes with application of organic wastes with “Fermented Bokashi Compost.” *Acta Scientiarum - Agronomy*, 35(2), 257–264. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i2.15133>
- Bravo, G. A. (2020). La contaminación ambiental ocasionada por la minería en la provincia de El Oro. *Estudios de La Gestión. Revista Internacional de Administración*, 8(8), 215–233. <https://doi.org/10.32719/25506641.2020.8.8>
- Brissio, P. (2005). Evaluación preliminar del estado de contaminación en suelos de la provincia del Neuquén donde se efectúan actividades de explotación hidrocarburíferas.
- Brutti, L., Beltrán, M., & García de Salamone, I. (2018). La biorremediación aplicada a la rehabilitación de suelos contaminados con hidrocarburos. In *Biorremediación de los recursos naturales*.
- Burbano-Orjuela, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117–124.
- Burbano, H. (2010). El suelo al servicio de la sociedad y su rol en el contexto de los cambios globales. *Tendencias*, 11(2), 53–62.
- Caiza, G. (2018). Mercurio en el suelo. Contaminación y remediación. In Universidad Complutense, Facultad de Farmacia. <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/GISELA FERNANDA CAIZA CAIZA.pdf>
- Candia, J. R. (2019). Manual de tecnologías de remediación de sitios contaminados. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.

- Cano, S. (2017). Instituto Nacional De Salud. Biomédica, 32(2), 309–311. <https://revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/1437/1561>
- Casanova, L. F., Ramírez, A. L., & Solorio, S. F. J. J. (2010). Efecto del intervalo de poda sobre la biomasa foliar y radical en árboles forrajeros en monocultivo y asociados. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12(3), 657–665.
- Castillo, C. (2005). Selección y calibración de indicadores locales y técnico para evaluar la degradación de los suelos laderas, en la microcuenca Cuscamá el Tuma - La Dalia Matagalpa, 2005. In Investigación. <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263123192010.pdf>
- CCA. (2017). Caracterización y gestión de los residuos orgánicos en América del Norte. In Cec- Cca- Cce (p. 9). <http://www3.cec.org/islandora/fr/item/11770-characterization-and-management-organic-waste-in-north-america-white-paper-es.pdf>
- Cervantes, M. (2022). Microorganismos del suelo beneficiosos para los cultivos. 1–6. [https://infoagro.com/hortalizas/microorganismos\\_beneficiosos\\_cultivos.htm](https://infoagro.com/hortalizas/microorganismos_beneficiosos_cultivos.htm)
- Chen, C., Kao, C., & Chen, S. (2008). Application of *Klebsiella oxytoca* immobilized cells on the treatment of cyanide wastewater. *Chemosphere*, 71(1), 133–139. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.10.058>
- Chen, J., Qin, J., Zhu, Y.-G., De Lorenzo, V., & Rosen, B. (2013). Engineering the soil bacterium *Pseudomonas putida* for arsenic methylation. *Applied and Environmental Microbiology*, 79(14), 4493–4495. <https://doi.org/10.1128/AEM.01133-13>
- Chen, X., Kumari, D., Cao, C. J., Plaza, G., & Achal, V. (2020). A review on remediation technologies for nickel-contaminated soil. *Human and Ecological Risk Assessment*, 26(3), 571–585. <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1539639>
- Código Orgánico del Ambiente. (2017). Código Orgánico Del Ambiente. In Registro Oficial Suplemento 983 (pp. 1–92). [http://gobiernoabierto.quito.gob.ec/Archivos/Transparencia/2017/07julio/A2/ANEXOS/PRO CU\\_CODIGO\\_ORGANICO\\_ADMINISTRATIVO.pdf](http://gobiernoabierto.quito.gob.ec/Archivos/Transparencia/2017/07julio/A2/ANEXOS/PRO CU_CODIGO_ORGANICO_ADMINISTRATIVO.pdf)
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Constitución de la República del Ecuador. In *Iusrectusecart* (Issue 449, pp. 1–219). <https://bde.fin.ec/wp-content/uploads/2021/02/Constitucionultimodif25enero2021.pdf>
- Córdova Vinuesa, L. (2015). “Evaluación del comportamiento de microorganismos eficientes autóctonos (EMA) y levaduras fermentadoras (*Saccharomyces cerevisiae*) en la fabricación del biofertilizante Bokashi.” Universidad Técnica de Ambato.
- Cotler, H., Sotelo, E., Domínguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., & Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica*, 83(2007), 5–71. [http://dialnet.unirioja.es/servlet/dfichero\\_articulo?codigo=2875596&orden=0](http://dialnet.unirioja.es/servlet/dfichero_articulo?codigo=2875596&orden=0)

- Covarrubias, S. A., García Berumen, J. A., & Peña Cabriales, J. J. (2015). Microorganisms role in the bioremediation of contaminated soils with heavy metals. *Acta Universitaria*, 25(NE-3), 40–45. <https://doi.org/10.15174/au.2015.907>
- Covarrubias, S., & Peña, J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33, 7–21. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>
- Cuevas, D. C. (2017). Plan educativo para la producción de abono orgánico mediante microorganismos eficientes. *Revista Scientific*, 2(3), 176–189. <https://doi.org/10.29394/scientific.issn.2542-2987.2017.2.3.9.176-189>
- Department of Energy and Climate Change. (2015). Onshore oil and gas exploration in the UK: regulation and best practice. December, 49. [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/265988/Onshore\\_UK\\_oil\\_and\\_gas\\_exploration\\_England\\_Dec13\\_contents.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/265988/Onshore_UK_oil_and_gas_exploration_England_Dec13_contents.pdf)
- Domínguez Soto, J. M., Román Gutiérrez, A. D., Prieto García, F., & Acevedo Sandoval, O. (2011). Evaluación de color en suelos del Cerro de Denganthza, municipio de Francisco I. Madero, Hidalgo. *Acta Universitaria*, 21, 92–100. <https://doi.org/10.15174/au.2011.42>
- Endicott, S., Brueland, B., Keith, R., Schon, R., Chunk, B., Farnham, D., DeBruin, J., Clausen, C., Strachan, S., & Carter, P. (2015). Maíz crecimiento y desarrollo. 1–20. [https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Latin\\_America\\_Central/Chile/Servicios/Informacion\\_tecnica/Corn\\_Growth\\_and\\_Development\\_Spanish\\_Version.pdf](https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Latin_America_Central/Chile/Servicios/Informacion_tecnica/Corn_Growth_and_Development_Spanish_Version.pdf)
- Environmental Law Alliance Worldwide. (2007). Vista General de la Actividad Minera y sus Impactos. 3–20. [http://www.elaw.org/files/mining-eia-guidebook/Capitulo\\_1.pdf](http://www.elaw.org/files/mining-eia-guidebook/Capitulo_1.pdf)
- Environmental Law Institute Research Report. (2000). Prevención de la contaminación minera: Propuesta de un marco común para las Américas (Issue January).
- Escobar, I. (2019). Contaminación Ambiental. Editorial Trillas. [aurea\\_la\\_contaminacion-with-cover-page-v2.pdf](aurea_la_contaminacion-with-cover-page-v2.pdf)
- Fernández, D. (2020). Biorremediación de suelo degradado de olivar usando fuentes de materia orgánica y microorganismos. [https://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/12260/1/TFG\\_biorremediacion.pdf](https://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/12260/1/TFG_biorremediacion.pdf)
- Fernández, L., Rojas, N., Roldán, T., Ramírez, M., Zegarra, H., Uribe, R., Reyes, R., Flores, D., & Arce, J. (2013). Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CG008215.pdf>

- Fertilab. (2010). Interpretación de resultados de textura y humedad del suelo. Fertilab, 4.GAD, S. R. (2014). Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Santa Rosa. App.Sni.Gob.Ec.  
[http://app.sni.gob.ec/snmlink/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/DIAGNOSTICO PRELIMINAR PDYOT NARANJAL\\_15-11-2014.pdf](http://app.sni.gob.ec/snmlink/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/DIAGNOSTICO PRELIMINAR PDYOT NARANJAL_15-11-2014.pdf)
- Galán, E., & Romero, A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. *Macla*, 10, 48–60.
- Gamarra, C., Díaz Lezcano, M. I., Vera de Ortiz, M., Galeano, M. D. P., & Cabrera Cardús, A. J. N. (2018). Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(46), 4–26.  
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.134>
- Garcés, A., & Saravia, K. (2008). Morfología y estructura de los microorganismos. *Encyclopedia of Astrobiology*, 1377–1377. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-11274-4\\_1302](https://doi.org/10.1007/978-3-642-11274-4_1302)
- Garcés Fiallos, F., & Forcelini, C. A. (2011). Peso de hojas como herramienta para estimar el área foliar en soya. *Ciencia y Tecnología*, 4(1), 13–18. <https://doi.org/10.18779/cyt.v4i1.97>
- García, C., Moreno, J., Hernández, M., & Polo, A. (2002). Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo. *Ciencia y Medio Ambiente- CCMA-CSIC*, 125–138.  
<http://hdl.handle.net/10261/111812>
- Greenlee, L. F., Lawler, D. F., Freeman, B. D., Marrot, B., & Moulin, P. (2009). Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges. *Water Research*, 43(9), 2317–2348. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.03.010>
- Gupta, N., Balomajumder, C., & Agarwal, V. K. (2012). Adsorption of cyanide ion on pressmud surface: A modeling approach. *Chemical Engineering Journal*, 191, 548–556.  
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.03.028>
- Gurbuz, F., Ciftci, H., & Akcil, A. (2009). Biodegradation of cyanide containing effluents by *Scenedesmus obliquus*. *Journal of Hazardous Materials*, 162(1), 74–79.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.05.008>
- Halkos, G., & Petrou, K. (2015). Economic and social thought. *Journal of Economic and Social Thought*, 2(2), 106–120. <https://e-resources.perpusnas.go.id:2350/docview/1873027697/10B524F6CCAD47DAPQ/5?accoutid=25704>
- Hesperian. (2011). La minería y la salud. In *Guía comunitaria para la salud ambiental* (Vol. 2, pp. 470–497). [http://hesperian.org/wp-content/uploads/pdf/es\\_cgeh\\_2011/es\\_cgeh\\_2011\\_cap21.pdf](http://hesperian.org/wp-content/uploads/pdf/es_cgeh_2011/es_cgeh_2011_cap21.pdf)
- Hopkins, D. W., & Burns, R. G. (2006). Defining soil quality. *Microbiological Methods for*

- Assessing Soil Quality, January, 15–22. <https://doi.org/10.1079/9780851990989.0015>.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2007). Tecnologías de remediación. SEMARNAT.
- Jara, E., Gómez, J., Montoya, H., Chanco, M., Mariano, M., & Noema, C. (2014). Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas en suelos contaminados con metales pesados. *Revista Peruana de Biología*, 21(October), 145–155. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1727-99332014000200004](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332014000200004)
- Jaramillo-Jaramillo, D. (2002). La estructura del suelo. In *Introducción a la ciencia del suelo* (pp. 97–116). [https://agroarecha.com/pdf/Estructura\\_del\\_suelo.pdf](https://agroarecha.com/pdf/Estructura_del_suelo.pdf)
- Kaksonen, A. H., Mudunuru, B. M., & Hackl, R. (2014). The role of microorganisms in gold processing and recovery - A review. *Hydrometallurgy*, 142, 70–83. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2013.11.008>
- Kebeish, R., Aboelmy, M., El-Naggar, A., El-Ayouty, Y., & Peterhansel, C. (2015). Simultaneous overexpression of cyanidase and formate dehydrogenase in *Arabidopsis thaliana* chloroplasts enhanced cyanide metabolism and cyanide tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 110, 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.09.004>
- Krumova, K., Nikolovska, M., & Groudeva, V. (2008). Isolation and identification of arsenic-transforming bacteria from arsenic contaminated sites in Bulgaria. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 22(2), 721–728. <https://doi.org/10.1080/13102818.2008.10817541>
- Labarca, R., González, L., Gonzáles, O., & Jiménez, M. (2018). Caracterización del abono bocashi y su aplicación en el cultivo de pimentón (*capsicum annum*, L), en el estado Falcón. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria de Ciencias de La Educación, Turismo, Ciencias Sociales y Económica, Ciencias Del Agro y Mar y Ciencias Exactas y Aplicadas.*, II(15), 1–19. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7441210> <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7062706>.
- Largo, A. (2020). Estudio de compost a partir de excretas de aves, con aplicación de microorganismos benéficos en la ciudad de cuenca [Universidad Católica de Cuenca]. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/7954>
- Lindsay, M., Moncur, M., Bain, J., Jambor, J., Ptacek, C., & Blowes, D. (2015). Geochemical and mineralogical aspects of sulfide mine tailings. *Applied Geochemistry*, 57, 157–177. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.01.009>
- Llivichuzca, G. F. (2016). Determinación del porcentaje biorremediador del Bocashi, en suelos contaminados por glifosato mediante la técnica de biolabranza en cultivos asociados de café y cacao en el barrio san roque, parroquia Pachicutza, cantón el Pangui, provincia Zamora Chinchi. <http://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/17602>

- López, J., Torres, N., Saldivar, R., Reyes, I., & Argüello, B. (2016). Técnicas para evaluar germinación, vigor y calidad fisiológica de semillas sometidas a dosis de nanopartículas. Centro de Investigación En Química Aplicada (CIBQ), 129–140. [https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/334/1/Técnicas Para Evaluar Germinación%2C Vigor y Calidad Fisiológica de Semillas Sometidas a Dosis de Nanopartículas.pdf](https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/334/1/Técnicas%20Para%20Evaluar%20Germinación%20Vigor%20y%20Calidad%20Fisiológica%20de%20Semillas%20Sometidas%20a%20Dosis%20de%20Nanopartículas.pdf)
- López, P., Ainzua, S., & Vasconi, P. (2009). La minería y su pasivo ambiental. Análisis de Políticas Públicas, 24.
- Madigan, M., Martinko, J., Bender, K., Buckley, D., & Stahl, D. (2015). Biología de los microorganismos (14th ed.). <https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>
- Marín, D. J. (2019). Impacto del uso de biofertilizantes a base de residuos orgánicos en los suelos. Conciencia Tecnológica, 58.
- Martínez Prado, A., Pérez López, M. ., Pinto Espinoza, J., Gurrola, B., & Osorio, A. (2011). Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos empleando lodos residuales como fuente alterna de nutrientes. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 27(3).
- Mauricio, S. S. (2016). Biorremediación con abono bocashi para la recuperación de los suelos contaminados por plomo (Pb) en la comunidad Vicco-Pasco 2016. Universidad Cesar Vallejo. <http://181.224.246.201/handle/UCV/4663>
- Mehran, F., Soleimani, N., Mehrasbi, M., Darabian, S., Mohammadi, J., & Ramazani, A. (2015). Highly cadmium tolerant fungi: Their tolerance and removal potential. Journal of Environmental Health Science and Engineering, 13(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s40201-015-0176-0>
- Melnyk, M., Grytsyk, A., & Stalyus, L. (2015). Research of component composition of Ruta graveolens L. herb essential oil. Thepharmajournal.Com, 4(2), 41–43. [https://www.thepharmajournal.com/vol4Issue2/Issue\\_Apr\\_2015/4-2-37.1.pdf](https://www.thepharmajournal.com/vol4Issue2/Issue_Apr_2015/4-2-37.1.pdf)
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015). Ministerio del Ambiente del Ecuador: Acuerdo Ministerial No 097A. In Registro oficial TULSMA (pp. 1–184).
- Moneva, J. (2019). Análisis y evaluación actual del abono tipo bocashi como alternativa ecológica ante los agroquímicos. [Universidad Miguel Hernández de Elche]. [http://dspace.umh.es/bitstream/11000/5930/1/TFM Moneva Roca%2C José.pdf](http://dspace.umh.es/bitstream/11000/5930/1/TFM%20Moneva%20Roca%20José.pdf)
- Montaño, N., Sandoval, A., Camargo, S., & Sánchez, J. (2010). Los microorganismos: pequeños gigantes. Revista Ciencia y Cultura Elementos, 77(0187–9073), 15–23. <https://www.redalyc.org/pdf/294/29411989003.pdf>
- Monteagudo, F. (2001). Evaluación de la contaminación por mercurio en población de mineros

- artesanales de oro de la comunidad de Santa Filomena-Ayacucho-Perú durante el periodo agosto 2000-septiembre 2001. *Environmental Health Perspectives*, 112(3), 324–330. [http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list\\_uids=15121519](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=15121519)
- Morán, R. (1998). Cyanide uncertainties. Mineral Policy Center, Issue Paper No. 1 Washington, DC, 16.
- Moreno, H., Gisbert, M., & Ibáñez, S. (2010). La estructura de un suelo. *Suelos*, 8(9), 1–9. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8010/estructura.pdf>
- Moreno, R., Téllez, J., & Monroy, M. (2012). Influencia de los minerales de los jales en la bioaccesibilidad de arsénico, plomo, zinc y cadmio en el distrito minero Zimapán, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(3), 203–218.
- Mosquera, J. J. (2018). Valoración de la aplicación de inóculos de microorganismos benéficos (MOBs) en el cultivo de rábano (*Raphanus sativus*) en la granja experimental- Paute. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16423/1/UPS-CT007989.pdf>
- Munive, R., Gamarra, G., Munive, Y., Puertas, F., Lorgio, V., & Cabello, R. (2020). Lead and cadmium uptake by sunflower from contaminated soil and remediated with organic amendments in the form of compost and vermicompost. *Scientia Agropecuaria*, 11(2), 177–186. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2020.02.04>
- Munive, R., Loli, O., Azabache, A., & Gamarra, G. (2018). Phytoremediation with corn (*Zea mays* L.) and Stevia compost on soils degraded by contamination with heavy metals. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 551–560. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.11>
- Muñiz Ugarte, O., Rodríguez Alfaro, M., Montero Álvarez, A., Estévez Álvarez, J., De Aguiar Accioly, A. M., & Araujo Do Nascimento, C. W. (2015). El níquel en suelos y plantas de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 36, 25–33. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362015000500003](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000500003)
- Nafziger, E. (2021). La fenología del maíz y su relación con la incidencia de plagas. INTAGRI. <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/la-fenologia-del-maiz-y-su-relacion-con-la-incidencia-de-plagas>
- Nandini, M. R., Udayashankara, T. H., & Madhukar, M. (2016). A review on the bioremediation process for the removal of heavy metals. January 2015. [https://www.researchgate.net/publication/308076031\\_A\\_Review\\_on\\_the\\_Bioremediation\\_Process\\_for\\_the\\_Removal\\_of\\_Heavy\\_Metals](https://www.researchgate.net/publication/308076031_A_Review_on_the_Bioremediation_Process_for_the_Removal_of_Heavy_Metals)
- Neyra Vazallo, S., Terrones Ramírez, L., Toro Carranza, L., Zárate García, B., & Soriano Bernilla, B. (2013). Efecto de la inoculación de *Rhizobium etli* y *Trichoderma viride* sobre el crecimiento aéreo y radicular de *Capsicum annum* var. *longum*. *Rebiolest*, 1(1), 11–21.

- <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/ECCBB/article/view/176>.
- Nies, D. H. (1999). Microbial heavy-metal resistance. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 51(6), 730–750. <https://doi.org/10.1007/s002530051457>
- Ogosi, S. (2018). Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando *Brassica campestris* L. en la estación experimental El Mantaro-Junín. 1–84. [http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/5289/T\\_28271198\\_M.pdf?sequence=1 &isAllowed=y](http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/5289/T_28271198_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ortega, P. (2012). Producción del bokashi sólido y líquido. [Universidad de Cuenca]. In Universidad de Cuenca. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3347/1/TESIS.pdf>
- Ortiz, D., & Alama, S. (2016). Niveles de mercurio, cadmio, plomo y arsénico en peces del río Tumbes y riesgos para salud humana por su consumo. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 18(36), 35–41.
- Osores, F., Rojas, J., & Manrique, C. (2012). Minería informal e ilegal y contaminación con mercurio en Madre de Dios: un problema de salud pública. *Acta Médica Peruana*, 29(1), 38–42.
- Osorio, N. (2012). pH del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo Integral Del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(4), 4–7. [http://www.walterosorio.net/web/sites/default/files/documentos/pdf/1\\_4\\_pH del suelo y nutrientes\\_0.pdf](http://www.walterosorio.net/web/sites/default/files/documentos/pdf/1_4_pH_del_suelo_y_nutrientes_0.pdf)
- Oviedo, R., Moína, E., Naranjo, J., & Barcos, M. (2017). Contaminación por metales pesados en el sur del Ecuador asociada a la actividad minera. *Bionatura*, 2, 437–441. <https://doi.org/10.21931/RB/2017.02.04.5>
- Peña, S., & Araya, P. (2021). Aguas de contacto, efectos en la minería y el medioambiente. *Revista de La Facultad de Derecho*, 50, 0–2. <https://doi.org/10.22187/rfd2021n50a6>
- Pereyra, F. (2015). Sector minero. *Boletín Científico de La Escuela Superior Atotonilco de Tula*, 2(4). <https://doi.org/10.29057/esat.v2i4.1469>
- Pérez, E. (2017). Micropropagación y biotización de Jojoba (*Simmondsia chinensis* L. [Scheider]) mediante bacterias endófitas promotoras de crecimiento vegetal. <http://dspace.cibnor.mx:8080/handle/123456789/556>
- Petrova, F., Bulgaria, S., & Fishbein, L. (2004). Hydrogen cyanide and cyanides: human health aspects. *World Health Organization*, 65. <http://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/cicad61.pdf?ua=1%0Ahttp://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/cicad61.pdf>

- Piña, J. S. (2010). Desarrollo de equipo para la generación de mapas de conductividad eléctrica geo-referenciados.  
[https://node2.123dok.com/dt02pdf/123dok\\_es/000/871/871015.pdf.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=aa5vJ7sqx6H8Hq4u%2F20221129%2F%2Fs3%2Faws4\\_request&X-Amz-Date=20221129T213451Z&X-Amz-SignedHeaders=ho](https://node2.123dok.com/dt02pdf/123dok_es/000/871/871015.pdf.pdf?X-Amz-Content-Sha256=UNSIGNED-PAYLOAD&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=aa5vJ7sqx6H8Hq4u%2F20221129%2F%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Date=20221129T213451Z&X-Amz-SignedHeaders=ho).
- Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana, C., & Campos, A. (2006). Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. *Ecología Aplicada*, 5(1–2), 149.  
<https://doi.org/10.21704/rea.v5i1-2.329>
- Puicon, Y., & Hurtado, J. (2013). Bioremediation of soils polluted with mercury by using *Pseudomonas* sp isolated from informal mining zones. *Universidad Peruana Cayetano Heredia*, 1–7. <https://www.aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/07/233-Peru-oral.pdf>
- Quesada, G. (2017). Revegetación y reforestación en áreas afectadas por la minería en la localidad de Hualgayoc, Cajamarca [Universidad Nacional Agraria la Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3927/de-quezada-alzamora-gonzalo-enrique2.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rajendran, P., Muthukrishnan, J., & Gunasekaran, P. (2003). Microbes in heavy metal remediation. *Indian Journal of Experimental Biology*, 41(9), 935–944. [https://www.researchgate.net/publication/230641722\\_Rajendran\\_P\\_Muthukrishnan\\_J\\_M\\_Gunasekaran\\_P\\_2003\\_Microbes\\_in\\_heavy\\_metal\\_remediation\\_Indian\\_Journal\\_of\\_Experimental\\_Biology\\_Vol41\\_935-944](https://www.researchgate.net/publication/230641722_Rajendran_P_Muthukrishnan_J_M_Gunasekaran_P_2003_Microbes_in_heavy_metal_remediation_Indian_Journal_of_Experimental_Biology_Vol41_935-944)
- Rangel Montoya, E. A., Montañez Hernández, L. E., Luévanos Escareño, M. P., & Balagurusamy, N. (2015). Impacto del arsénico en el ambiente y su transformación por microorganismos. *Terra Latinoamericana*, 103–118. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57339210001>
- Reyes, H., & Ortiz, J. (2019). Evaluación de la degradación de materia orgánica mediante técnicas de visión artificial y sensores [Universidad Católica de Cuenca]. [https://dspace.ucacue.edu.ec/bitstream/ucacue/8252/1/REYES\\_ORDOÑEZ\\_HUMBERTO\\_RAUL%3B\\_ORTIZ\\_TORRES\\_JONNATHAN\\_ISMAEL.pdf](https://dspace.ucacue.edu.ec/bitstream/ucacue/8252/1/REYES_ORDOÑEZ_HUMBERTO_RAUL%3B_ORTIZ_TORRES_JONNATHAN_ISMAEL.pdf)
- Rocha-Román, L., Olivero-Verbel, J., & Caballero-Gallardo, K. R. (2018). Impacto de la minería del oro asociado con la contaminación por mercurio en suelo superficial de san martín de loba, sur de bolívar (Colombia). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(1), 93–102. <https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.01.08>
- Rodríguez, L., Juscamaita, J., & Vargas, J. (2007). Efecto of EM-Bokashi en el cultivo de la microalga marina *Tetrasemis suceica* K. *Ecología Aplicada*, 6(1,2), 111–116.
- Rodríguez, M., Martínez-de la Casa, N., Romero de Puertas, M. C., del Rio, L. a., & Sandalio, L. M. (2008). Toxicidad del cadmio en plantas. *Ecosistemas*, 17(3), 139–146.

<http://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/409>

- Rojas, J., & Sáenz, E. (2012). Densidad aparente. Centro Regional Chaco Formosa, 1(1), 3. [https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-\\_densidad\\_aparente.pdf](https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-_densidad_aparente.pdf)
- Ruiz, E. A., & Armienta, M. A. (2012). Acumulación de arsénico y metales pesados en maíz en suelos cercanos a jales o residuos mineros. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(2), 103–117. <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v10n1/a06v10n1.pdf>
- Sánchez, J., & Hurtado, J. (2009). Mercury reduction by bacteria isolated from informal mining zones. *Advanced Materials Research*, 71–73(August), 637–640. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.71-73.637>
- Sandoval, F. (2001). La pequeña minería en el Ecuador. *Mining Minerals and Sustainable Development*, 75. <https://www.iied.org/sites/default/files/pdfs/migrate/G00721.pdf>
- Sanz, D. (2011). Medioambientales. <http://medioambientales.com/la-importancia-de-los-suelos/>
- Sarabia Quintana, J. R. (2014). Evaluación del crecimiento del maíz VS-536 inoculado con microorganismos (micorrizas y azospirillum), y con la adición de fertilizantes químicos en un suelo. [http://www.zonamaya.tecnm.mx/web\\_biblio/archivos/res\\_prof/agro/agro-2014-5.pdf](http://www.zonamaya.tecnm.mx/web_biblio/archivos/res_prof/agro/agro-2014-5.pdf)
- Sarmiento Sarmiento, G. J., Amézquita Álvarez, M. A., & Mena Chacón, L. M. (2019). Use of bocashi and effective microorganisms as an ecological alternative in strawberry crops in arid zones. *Scientia Agropecuaria*, 10(1), 55–61. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.01.06>
- Smith, A., Botz, M. M., & Mudder, T. (2001). Chemistry and treatment of cyanidation wastes. 373. [http://dana6.free.fr/3\\_060713\\_English\\_Compendium.pdf](http://dana6.free.fr/3_060713_English_Compendium.pdf)
- Soriano, M. (2018). Conductividad eléctrica del suelo. Universidad Politécnica de Valencia, 1, 1–10. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/105110/Soriano - Conductividad eléctrica del suelo.pdf?sequence=1](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/105110/Soriano_-_Conductividad_eléctrica_del_suelo.pdf?sequence=1)
- Tarras, W., Flachier, A., & Sangfors, O. (2001). Environmental impacts and metal exposure of aquatic ecosystems in rivers contaminated by small scale gold mining: the Puyango River basin, southern Ecuador. *The Science of the Total Environment.*, 278, 239–261.
- Tillage, C., Mulch, O. F., Jos, A., Guti, G., & Ber, S. (2000). Conservation Tillage using Organic Fertilizer Mulch in Alfalfa. *Terra Latino Americana*, 18(2), 161–171.
- UNEP. (2000). Mining and sustainable development II. United Nations Environment Programme, 23, 95 pp.
- Vasquez, E., Sosoranga, C., Chamba, M., & Mora, M. (2018). Evaluación química de bocashi con aplicación de microorganismos eficientes en el cantón Saraguro, provincia de Loja

- Chemical evaluation of bocashi with application of Efficient microorganisms in Saraguro cantón, Loja province. *Chemical Evaluation of Bocashi with Application of Efficient Microorganisms in Saraguro Canton, Loja Province*, 8(1), 85–95.  
<https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/415/351>
- Vega, M., Valverde, A., Gonzales, F., Campos, M., & Illatopa, D. (2021). “Efectividad de microorganismos eficaces en la ecoeficiencia del cultivo de papa” (A. Valverde Rodriguez (ed.)). <https://www.unheval.edu.pe/portal/wp-content/uploads/2021/06/LIBRO-MICROORGANISMOS-EFICACES.pdf>
- Velasteguí, R. (2005). *Alternativas ecológicas para el manejo integrado fitosanitario en los cultivos*. (Primera Ed).
- Vila, J., Urbizu, A., & Grifoll, M. (2014). Técnicas de saneamiento del subsuelo. *Medio Ambiente*, 52–58.
- Villemur, R., Juteau, P., Bougie, V., Ménard, J., & Déziel, E. (2015). Development of four-stage moving bed biofilm reactor train with a pre-denitrification configuration for the removal of thiocyanate and cyanate. *Bioresource Technology*, 181, 254–262.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.051>
- Volke, T., & Velasco, J. (2002). *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. In Instituto Nacional de Ecología.
- Watanabe, A., Yano, K., Ikebukuro, K., & Karube, I. (1998). Cloning and expression of a gene encoding cyanidase from *Pseudomonas stutzeri* AK61. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 50(1), 93–97. <https://doi.org/10.1007/s002530051261>
- Weng, Z., Díaz, O., & Álvarez, I. (2005). Conservación de microorganismos: ¿qué debemos conocer? *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 43, 5.  
<https://www.redalyc.org/pdf/2232/223214847006.pdf>
- Wong, M. H. (2003). Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. *Chemosphere*, 50(6), 775–780.  
[https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00232-1](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00232-1).

## ANEXOS

**Anexo 1:** Evidencias fotográficas durante la elaboración del trabajo de estudio.



**Imagen 1:** Gps para toma de coordenadas



**Imagen 2:** Balanza en kg para el peso de la M.O.



**Imagen 3:** Obtención final del proceso de activación.



**Imagen 4:** M.O de las diferentes familias.

**Anexo 2:** Fotografías de los manejos de los tratamientos.



**Imagen 1:** Producción de bokashi.



**Imagen 2:** Peso de la dosis de bokashi.



**Imagen 3:** Cajas con dosis de bokashi.



**Imagen 4:** Riego con solución madre.

**Anexo 3: Análisis inicial del suelo de las características físicas**

NOMBRE DEL PROPIETARIO	YULY HUANCA	FECHA DE MUESTREO:	25.03.2022	<b>dionika</b> LABORATORIOS
O REMITENTE:		FECHA DE INGRESO:	28.03.2022	
CODIGO DE CLIENTE:	yh	ORDEN DE TRABAJO No.:	PSL320	
NOMBRE DE LA PROPIEDAD:		FECHA DE INFORME LAB.:	14.04.2022	
TELF:	994619700	FACTURA No.:	4921	
E-MAIL:				
LOCALIDAD:	ANALISIS QUIMICO DE SUELO	BELLAVISTA DE CARRETAS		E-MAIL: PLANTSPHERELABS@BIOSOFTWARE.DE
TIPO DE ANALISIS:	no reportado	CALLE N75B Y N6		www.bdki.eu
		TELF: 2477715 - 098 508 315		QUITO - ECUADOR

**RESULTADO ANALISIS DE TEXTURA Y ESTRUCTURA**

Identificación	ARENA %	LIMO %	ARCILLA %	CLASE TEXTURAL	ESTRUCTURA	DENSIDAD	% OXIGENO
MUESTRA 1 LBS	55	20	25	Franco Arcillo Arenoso	Agregada	0,99	12

**Imagen 1:** Línea base del suelo de las características físicas

## Anexo 4: Análisis inicial de las características químicas del suelo.

### DATOS DE IDENTIFICACION

NOMBRE DEL PROPIETARIO O REMITENTE:	YULY HUANCA
CODIGO DE CLIENTE:	yh
NOMBRE DE LA PROPIEDAD:	
TELF:	994619700
E-MAIL:	
TIPO DE ANALISIS:	ANALISIS QUIMICO DE SUELO
CULTIVO:	no reportado
FASE DE CULTIVO:	no reportado

FECHA DE MUESTREO:	25.03.2022
FECHA DE INGRESO:	28.03.2022
ORDEN DE TRABAJO No.:	PSL320
FECHA DE INFORME LAB.:	14.04.2022
FACTURA No.:	4921

# Bionika

LABORATORIOS

BELLAVISTA DE CARRETAS  
CALLE N75B Y N6  
TELF: 2477715 - 098 508 315

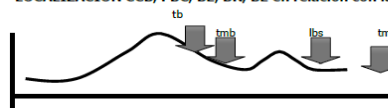
E-MAIL: PLANTSPHERELABS@BIOSOFTWARE.DE  
www.bdkl.eu  
QUITO - ECUADOR

### RESULTADO ANALISIS MACRO Y MICRO ELEMENTOS DE SUELO

IDENTIFICACION	No.LAB.	Sat 1/2 %	PH	d densidad g ml-1	C.E. mSiem/cm	Nitrogeno		Fosforo		Zinc	Cobre	Hierro	Manganeso	Potasio		Calcio	Magnesio	Azufre	Boro	M.Organica
						Nitratos N ppm	Amonia N ppm	P	P	Zn	Cu	Fe	Mn	K	K	Ca	Mg	S	B	M. O. %
								Total	Sol.Agua			ppm		Total	Sol.Agua					
MUESTRA 1 LBS	psl-320-a	32,0	4,20	0,99	1,12	6	2,2	55	18,0	5	2,5	50	7	92	75	255	70	12,0	0,2	1,1
INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS DE ANALISIS	BAJO		4,90		0,70	45	18	45	27	5,4	4,5	45	18	270	108	50	360	27	0,72	3,60
	OPTIMO	30 a 40	5,5 a 6,5		0,8 a 1,5	50 a 150	20 a 40	50 a 150	30 a 50	6 a 15	5 a 10	50 a 100	20 a 40	300 a 600	120 a 150	(3a4)1000	400 a 600	30 a 60	0,8a1,2	4 a 8
	ALTO		7,10		1,60	165	43	165	55	16,5	11,0	115	44	660	165		660	66	1,32	8,8
IDENTIFICACION	No.LAB.	RELACIONES	Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	(Ca+Mg)/K	Ca/B	Fe/Mn	NO3/NH4 N	Al + H meq/100 g	SODIO ppm	SODIO meq/100 g	Cloruros ppm	Potasio meq/100 g	Calcio meq/100 g	Magnesio meq/100 g			C.I.C.E. meq/100 g	
MUESTRA 1 LBS	psl-320-a		2,21	2,36	5,42	7,87	1275	7,14	2,73	1,8	32	0,14	45,0	0,24	1,28	0,58			4,0	
DE LOS RESULTADOS DE ANALISIS	OPTIMO		2,70	1,80	9	13,8	<1700	1,25		>0,9			0,13	0,70	0,13	2,7				
	ALTO		3 a 6	2 a 6	10 a 25	15 a 25	(2a4)1000	1,5 a 5		< 1,0	< 40	<0,17	15 a 30	0,8 a 1,5	15 a 20	3,3 a 5			12 a 25	
			6,60	6,60	27,5	28	>4500	6,2		>44	>0,20		33	1,7	22	6,5			27,5	

Capacidad de carga biopolimérica (CCB):	MEDIA
Partición BioColoidal (PBC):	MEDIA
Biocatalizadores exosféricos (BE):	log <sub>10</sub> : 0.55 – 1.46 CFU ml <sup>-1</sup>
Biocatalizadores rizosféricos (BR):	log <sub>10</sub> : 0.26 – 1.73 CFU ml <sup>-1</sup>
Biocatalizadores endosféricos (BE):	no reportados

### LOCALIZACIÓN CCB, PBC, BE, BR, BE en relación con la explotación del cultivo



DR. CARLOS FALCONI BORJA PH.D.  
PLANTSPHERELABS

Imagen 2: Línea base del suelo de las características químicas

Anexo 5: Análisis inicial de las características biológicas del suelo.

DATOS DE IDENTIFICACION	
NOMBRE DEL REMITENTE	YULY HUANCA
O REMITENTE:	
CODIGO DE CLIENTE:	YH
NOMBRE DE LA PROPIEDAD:	NO DETERMINADO
TELF:	0994619700
E-MAIL:	
TIPO DE ANALISIS:	MICROBIANO BIOCATALITICO
SUSTRATO:	SUELO DE MINA
FASE DE CONTAMINACION	ACTIVO

FECHA DE MUESTRE	25.03.2022
FECHA DE INGRESO:	28.03.2022
ORDEN DE TRABAJO	PSL320
FECHA DE INFORME	14.04.2022
FACTURA No.:	4921
RUC:	



RESULTADO ANALISIS BIOGRAMA MICROBIANO BIOCATALITICO SUSTRATO

BELLAVISTA DE CARRETAS  
PSJE N75B Y GONZALO CORREA  
TELF: 3460157 - 0998 697977

E-MAIL: PSL@BIOSOFTWARE.DE  
WWW.BDKI.DE  
QUITO - ECUADOR

MICROORGANISMOS	MUESTRA 1	SIGNIFICADO BIOCATALITICO MICROBIANO
	LBS	
<i>Actinomyces</i> sp.	0,6211587	colonias imperceptibles fuertes. Flotantes, limitadas al contenido organico del sustrato, su biomasa esta relacionada con la disponibilidad nutricional organica.
<i>Alcaligenes</i> sp.	n.d.	activado por la presencia de materia organica, forma polimeros edaficos, se puede considerar como un bioindicador de suelo agricola u organico.
<i>Arthrobacter</i> sp.	n.d.	a. por la actividad de poder captar nitrogeno atmosferico
<i>Azotobacter chroococum</i>	n.d.	b. por la actividad de poder captar nitrogeno atmosferico
<i>Bacillus subtilis</i>	1,5291585	caracteristicas extremofilas, colonias dispersas, fuertes, invasoras de productos fraccionarios de metales, alta capacidad de produccion metabolica
<i>Bacillus amyloliquefasciens</i>	0,7521478	bacteria gram positiva de localizacion universal, posee la capacidad de quelatar metales por medio de bicoloides microbianos, el mecanismo seria por absorcion.
<i>Bacillus cereus</i>	n.d.	bacteria derivada de condiciones organicas no concluyentes, referida a su capacidad ubiquitaria, habilitada por condiciones de sustratos organicos.
<i>Bacillus megaterium</i>	0,4211874	bacteria ubiquita, progresa en una amplia gama de sustratos, sean ricos en material organico o no. Su rol no es claro no se manifiesta claramente la manifiestan metabolitos secundarios.
<i>Cladosporium</i> spp	0,9547847	hongo hifomiceto ubicuto, metaboliza materia organica, aporta con acidos organicos carboxilicos quelatos primarios de precipitacion o inmovilizacion de metales pesados
<i>Fusarium</i> sp.	0,9510897	colonias de color blanco, es gram positiva, cumple con funciones de
<i>Gelasinospora</i> sp.	n.d.	hongo bioindicador, de caracteristicas extremofilas, posee una alta capacidad metabolica, se apoya en comunidades microbianas para desarrollar metabolitos secundarios.
<i>Geomyces</i> sp.	1,0211478	bioindicador de condiciones extremofilas, en este estudio su capacidad biologica, pa realiza bajo condiciones de alta contaminacion, en suelos con poca o ninguna capacidad agronomica.
<i>Gliomastix</i> sp	0,6521478	colonizador de complejos inorganicos del medio, aporta con nutrientes a los consortes microbianos del medio, es el enlace del ciclo de remediaci3n hacia procesos de anclaje de vegetales.
<i>Hansfordia</i> sp.	n.d.	bioindicador positivo de condiciones organicas sensibles a condiciones de contaminacion ambiental
<i>Mucor</i> sp.	n.d.	dependiente de una alta carga organica, desarrolla componentes como la vit B, no es apto en condiciones
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	1,0214578	claramente un microorganismo quelatante de metales, descritos en analisis paralelos, estos no fueron localizados en las muestras con alto contenido de sustancias nutricionales organicas.
<i>Streptomyces acromogenes</i>	1,2547859	bacteria gram positiva, forma colonias de color blanco unicamente en sustrato con componentes organicos.
<i>Propionibacterium</i> sp.	1,5547056	potencial biorremediador de metales pesados los cuales deben todavia definirse. La evidencia es la cantidad de propagulos localizados en el analisis
<i>Trichoderma</i> spp	0,9365314	hongo de enlace transitivo, transicional entre sustratos contaminados y los destinados a procesos agricolas en las cuales se debe custodiar procesos de bioacumulacion
<i>Thiobacillus ferroxidans</i>	1,5012487	ampliamente distribuido por el medio en forma de celulas con una espesa pared celular, alta capacidad metabolica, aporta subproductos de liquefacci3n carbonica COS del sustrato

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Complejos microbianos transientes y residentes de sustratos altamente contaminados, que se consideran como extremofilos
2. El microcosmos analizado describe sucesiones en el proceso metabolico de biorremediacion, de los mas extremos por su biomasa cfu y los sensibles pero ademas importantes pues satelizan procesos de biorremediacion
3. Los componentes microbianos revelan un alto despliegue bioquimico energetico y eficiencia en la colonizaci3n del sustrato, en el cual es importante el contenido de materia organica, material q es crucial para su desarrollo
4. Mediante el presente analisis se puede deducir estrategias de manejo de la biorremediacion en base a contenidos microbianos, composici3n mineral, organica, bioquimica.

Imagen 3: Línea base del suelo de las características biológicas.

**Anexo 6:** Análisis inicial de los metales presentes en la muestra de suelo.

*DATOS DE IDENTIFICACION*

NOMBRE DEL PROPIETARIO	YULY HUANCA	FECHA DE MUESTREO:	25.03.2022
O REMITENTE:		FECHA DE INGRESO:	28.03.2022
CODIGO DE CLIENTE:	yh	ORDEN DE TRABAJO No.:	PSL320
NOMBRE DE LA PROPIEDAD:		FECHA DE INFORME LAB.:	14.04.2022
TELF:	994619700	FACTURA No.:	4921
E-MAIL:			
LOCALIDAD:			
TIPO DE ANALISIS:	ANALISIS METALES PESADOS		
TIPO DE MUESTRAS:	SUELO		
ORIGEN	SUELO DE MINA		




RESULTADOS DE ANALISIS DE METALES PESADOS

Identificación	No. Lab.	ELEMENTO					
		ppm					
		As	Pb	Cd	Ni	Hg	CN
MUESTRA 1 LBS	psl-320-a	18,75	77,00	4,00	68,00	82,00	1,70

BIONIKA-PSL laboratorios  
 BELLAVISTA DE CARRETAS  
 CALLE N75B Y N6

**Imagen 4:** Metales encontrados en la línea base del suelo.

**Anexo 7:** Análisis de las características físicas del suelo de dos tratamientos y el testigo.

NOMBRE DEL PROPIETARIO	YULY HUANCA	FECHA DE MUESTREO:	12.07.2022	
O REMITENTE:		FECHA DE INGRESO:	13.07.2022	
CODIGO DE CLIENTE:	yh	ORDEN DE TRABAJO No.:	PSL320	
NOMBRE DE LA PROPIEDAD:		FECHA DE INFORME LAB.:	26.07.2022	
TELF:	994619700	FACTURA No.:	4921	
E-MAIL:				
LOCALIDAD:	ANALISIS QUIMICO DE SUELO			
TIPO DE ANALISIS:	no reportado	BELLAVISTA DE CARRETAS		E-MAIL: PLANTSPHERELABS@BIOSOFTWARE.DE
	no reportado	CALLE N75B Y N6		www.bdki.eu
		TELF: 2477715 - 098 508 315		QUITO - ECUADOR

RESULTADO ANALISIS DE TEXTURA Y ESTRUCTURA

Identificación	ARENA %	LIMO %	ARCILLA %	CLASE TEXTURAL	ESTRUCTURA	DENSIDAD	% OXIGENO
MUESTRA 2 TMB	65	25	10		Agregada	0,79	18
MUESTRA 3 TB	60	20	20	Arcillo-Limo-Arenoso	Agregada	0,82	20
MUESTRA 4 TMS	56	22	22		Agregada	1,11	13

**Imagen 5:** Características físicas de dos tratamientos y testigo.

## Anexo 8: Análisis de las características químicas de dos tratamientos y el testigo.

### DATOS DE IDENTIFICACION

NOMBRE DEL PROPIETARIO	YOLY HUANCA
O REMITENTE:	
CODIGO DE CLIENTE:	yh
NOMBRE DE LA PROPIEDAD:	
TELF:	994619700
E-MAIL:	
TIPO DE ANALISIS:	ANALISIS QUIMICO DE SUELO
CULTIVO:	no reportado
FASE DE CULTIVO:	no reportado

FECHA DE MUESTREO:	12.07.2022
FECHA DE INGRESO:	13.07.2022
ORDEN DE TRABAJO No.:	PSL320
FECHA DE INFORME LAB.:	26.07.2022
FACTURA No.:	4921



BELLAVISTA DE CARRETAS  
CALLE N75B Y N6  
TELF: 2477715 - 098 508 315

E-MAIL: PLANTSPHERELABS@BIOSOFTWARE.EU  
www.bdkl.eu  
QUITO - ECUADOR

### RESULTADO ANALISIS MACRO Y MICRO ELEMENTOS DE SUELO

IDENTIFICACION	No.LAB.	Sat 1/2 %	PH	d densidad g ml-1	C.E. mSiem/cm	Nitrogeno		Fosforo		Zinc	Cobre	Hierro	Manganes	Potasio	Calcio	Magnesio	Azufre	Boro	M.Organica	
						Nitros N ppm	Amonia N ppm	P	P	Zn	Cu	Fe	Mn	K	K	Ca	Mg	S	B	M. O.
						Total	Sol.Agua	Total	Sol.Agua	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
MUESTRA 2 TMB	psi-320-b	31,0	4,80	0,79	3,98	12	7,7	77	35,0	6	1,8	88	9	221	112	369	122	19,0	0,5	1,6
MUESTRA 3 TB	psi-320-c	32,0	5,50	0,82	4,20	18	10,3	110	99,0	8	2,1	95	16	266	155	473	208	30,0	0,7	2,2
MUESTRA 4 TMS	psi-320-d	33,0	4,10	1,11	1,13	6	3,1	63	38,0	3	1,1	33	8	98	45	45	65	8,0	0,1	1,0
INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS DE ANALISIS	BAJO		4,90		0,70	45	18	45	27	5,4	4,5	45	18	270	108	50	360	27	0,72	3,60
	OPTIMO	30 a 40	5,5 a 6,5		0,8 a 1,5	50 a 150	20 a 40	50 a 150	30 a 50	6 a 15	5 a 10	50 a 100	20 a 40	300 a 600	120 a 150	(3a4)1000	400 a 600	30 a 60	0,8a1,2	4 a 8
	ALTO		7,10		1,60	165	43	165	55	16,5	11,0	115	44	660	165		660	66	1,32	8,8

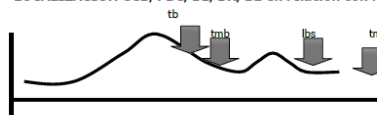
  

IDENTIFICACION	No.LAB.	RELACIONES	Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	(Ca+Mg)/K	Ca/B	Fe/Mn	NO3/NH4 N	Al + H meq/100 g	SODIO ppm	SODIO meq/100 g	Cloruros ppm	Potasio meq/100 g	Calcio meq/100 g	Magnesio meq/100 g	C.I.C.E. meq/100 g
MUESTRA 2 TMB	psi-320-b		1,84	1,71	3,26	5,04	738	9,78	1,56	1,9	35	0,15	63,0	0,57	1,85	1,00	5,5
MUESTRA 3 TB	psi-320-c		0,42	2,06	0,90	3,03	409	4,13	1,94	0,8	56	0,24	46,0	0,25	0,21	0,53	4,5
MUESTRA 4 TMS	psi-320-d		0,08	4,14	0,36	4,65	69	2,50	2,50	0,8	56	0,24	46,0	0,69	0,25	2,96	2,9
DE LOS RESULTADOS DE ANALISIS	OPTIMO		2,70	1,80	9	13,8	<1700	1,25		>0,9			0,13	0,70	0,13	2,7	
	ALTO		3 a 6	2 a 6	10 a 25	15 a 25	(2a4)1000	1,5 a 5		< 1,0	< 40	<0,17	15 a 30	0,8 a 1,5	15 a 20	3,3 a 5	12 a 25
			6,80	6,60	27,5	28	>4500	6,2		>44	>0,20	33	1,7	22	6,5	27,5	

Capacidad de carga biopolimérica (CCB):  
Partición BioColoidal (PBC):  
Biocatalizadores exosféricos (BE):  
Biocatalizadores rizosféricos (BR):  
Biocatalizadores endosféricos (BE):

MEDIA  
MEDIA  
log<sub>10</sub>: 0,55 – 1,46 CFU ml<sup>-1</sup>  
log<sub>10</sub>: 0,26 – 1,73 CFU ml<sup>-1</sup>  
no reportados

### LOCALIZACIÓN CCB, PBC, BE, BR, BE en relación con la explotación del cultivo



DR. CARLOS FALCONI BORJA PH.D.  
PLANTSPHERELABS

Imagen 6: Características químicas de dos tratamientos y testigo.

## Anexo 9: Análisis de las características biológicas de dos tratamientos y testigo

DATOS DE IDENTIFICACION	
NOMBRE DEL REMITENTE	YULY HUANCA
O REMITENTE:	
CODIGO DE CLIENTE:	YH
NOMBRE DE LA PROPIEDAD:	NO DETERMINADO
TELF:	0994619700
E-MAIL:	
TIPO DE ANALISIS:	MICROBIANO BIOCATALITICO
SUSTRATO:	SUELO DE MINA
FASE DE CONTAMINACION	ACTIVO

FECHA DE MUESTRE	12.07.2022
FECHA DE INGRESO:	13.07.2022
ORDEN DE TRABAJO	PSL320
FECHA DE INFORME	25.07.2022
FACTURA No.:	4921
RUC:	



### RESULTADO ANALISIS BIOGRAMA MICROBIANO BIOCATALITICO SUSTRATO

BELLAVISTA DE CARRETAS | E-MAIL: PSL@BIOSOFTWARE.DE  
 PSJE N75B Y GONZALO CORREA | WWW.BDKI.DE  
 TELF: 3460157 - 0998 697977 | QUITO - ECUADOR

MICROORGANISMOS	20%			SIGNIFICADO BIOCATALITICO MICROBIANO
	MUESTRA 2 TMB	MUESTRA 3 TB	MUESTRA 4 TMS	
<i>Actinomyces</i> sp.	1,2101474	0,6521487	1,2100658	colonias imperceptibles fuertes. Flotantes, limitadas al contenido organico del sustrato, su biomasa esta relacionada con la disponibilidad nutricional organica.
<i>Alcaligenes</i> sp.	0,6521458	1,2514584	0,1205471	activado por la presencia de materia organica, forma polimeros edaficos, se puede considerar como un bioindicador de suelo agricola u organico.
<i>Arthrobacter</i> sp.	1,2012478	0,9652148	n.d.	a. por la actividad de poder captar nitrogeno atmosferico
<i>Azotobacter chroococum</i>	0,6988547	1,5848904	n.d.	a. por la actividad de poder captar nitrogeno atmosferico
<i>Bacillus subtilis</i>	0,95784784	1,6521478	0,6201875	caracteristicas extremofilas, colonias dispersas, fuertes, invasoras de productos fraccionarios de metales, alta capacidad de produccion metabolica
<i>Bacillus amylioliquefasciens</i>	1,2012485	2,0145854	0,3412084	bacteria gram positiva de localizacion universal, posee la capacidad de quelatar metales por medio de biocoloides microbianos, el mecanismo seria por absorcion.
<i>Bacillus cereus</i>	2,6321488	1,8954509	0,5120147	bacteria derivada de condiciones organicas no concluyentes, referida a su capacidad ubiquitaria, habilitada por condiciones de sustratos organicos.
<i>Bacillus megaterium</i>	0,7652148	1,2085417	0,3201547	bacteria ubiquita, progresa en una amplia gama de sustratos, sean ricos en material organica o no. Su rol no es claro no se manifiesta claramente la manifiestan metabolitos secundarios.
<i>Cladosporium</i> spp	2,2541587	1,5848545	0,3210147	hongo hifomiceto ubicuo, metaboliza materia organica, aporta con acidos organicos carboxilicos quelatos primarios de precipiracion o inmovilizacion de metales pesados
<i>Fusarium</i> sp.	0,3214855	0,9520477	1,0986517	colonias de color blanco. es gram positiva, cumple con funciones de
<i>Gelasinospora</i> sp.	1,2581421	2,6512488	n.d.	hongo bioindicador, de caracteristicas extremofilas, posee una alta capacidad metabolica, se apoya en comunidades microbianas para desarrollar metabolitos secundarios.
<i>Geomyces</i> sp.	0,9532148	0,8601479	2,5621478	bioindicador de condiciones extremofilas, en este estudio su capacidad biologica, pa realiza bajo condiciones de alta contaminacion, en suelos con poca o ninguna capacidad agronomica.
<i>Gliomastix</i> sp	n.d.	n.d.	0,6521478	colonizador de complejos inorganicos del medio, aporta con nutrientes a los consortes microbianos del medio, es el enlace del ciclo de remediacion hacia procesos de anclaje de vegetales.
<i>Hansfordia</i> sp.	0,5214784	0,9854753	n.d.	bioindicador positivo de condiciones organicas sensibles a condiciones de contaminacion ambiental
<i>Mucor</i> sp.	0,1114784	0,9854754	n.d.	dependiente de una alta carga organica, desarrolla componentes como la vit B, no es apto en condiciones
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	0,3214754	0,3201258	2,0148547	claramente un microorganismo quelatante de metales, descritos en analisis paralelos, estos no fueron localizados en las muestras con alto contenido de sustancias nutricionales organicas.
<i>Streptomyces acromogenes</i>	1,2011947	0,9865471	2,2101478	bacteria gram positiva, forma colonias de color blanco unicamente en sustrato con componentes organicos.
<i>Propionibacterium</i> sp.	0,5845798	0,3251475	0,8954757	potencial biorremediador de metales pesados los cuales deben todavia definirse. La evidencia es la cantidad de propagulos localizados en el analisis
<i>Trichoderma</i> spp	1,04984784	2,5125475	1,2101487	hongo de enlace transitorio, transicional entre sustratos contaminados y los destinados a procesos agricolas en las cuales se debe custodiar procesos de bioacumulacion
<i>Thiobacillus ferroxidans</i>	0,9562147	0,8954578	1,7845498	ampliamente distribuido por el medio en forma de celulas con una espesa pared celular, alta capacidad metabolica, aporta subproductos de liquefaccion carbonica COS del sustrato
	18,85212598	24,2835134	15,8733169	

#### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Complejos microbianos transientes y residentes de sustratos altamente contaminados, que se consideran como extremofilos
2. El microcosmos analizado describe sucesiones en el proceso metabolico de biorremediacion, de los mas extremos por su biomasa cfu y los sensibles pero ademas importantes pues satelizan procesos de biorremediacion
3. Los componentes microbianos revelan un alto despliegue bioquimico energetico y eficiencia en la colonizacion del sustrato, en el cual es importante el contenido de materia organica, material q es crucial para su desarrollo
4. Mediante el presente analisis se puede deducir estrategias de manejo de la biorremediacion en base a contenidos microbianos, composicion mineral, organica, bioquimica.

Imagen 7: Características biológicas de dos tratamientos y testigo.

**Anexo 10:** Análisis de metales pesados de los dos tratamientos y testigo.

*DATOS DE IDENTIFICACION*

NOMBRE DEL PROPIETARIO	YULY HUANCA	FECHA DE MUESTREO:	12.07.2022
O REMITENTE:		FECHA DE INGRESO:	13.07.2022
CODIGO DE CLIENTE:	yh	ORDEN DE TRABAJO No.:	PSL320
NOMBRE DE LA PROPIEDAD:		FECHA DE INFORME LAB.:	26.07.2022
TELF:	994619700	FACTURA No.:	4921
E-MAIL:			
LOCALIDAD:			
TIPO DE ANALISIS:	ANALISIS METALES PESADOS		
TIPO DE MUESTRAS:	SUELO		
ORIGEN	SUELO DE MINA		



RESULTADOS DE ANALISIS DE METALES PESADOS

Identificación	No. Lab.	ELEMENTO					
		ppm					
		As	Pb	Cd	Ni	Hg	CN
MUESTRA 2 TMB	psl-320-b	15,82	72,2	3,1	60,47	72,3	1,2
MUESTRA 3 TB	psl-320-c	14,72	65,3	3,80	50,6	62,1	1,17
MUESTRA 4 TMS	psl-320-d	20,2	68,8	3,3	55,2	91,1	2,5

BIONIKA-PSL laboratorios  
 BELLAVISTA DE CARRETAS  
 CALLE N75B Y N6

**Imagen 8:** Metales pesados de dos tratamientos y testigo.

**Anexo 11:** Criterios de remediación del suelo (valores máximos permisibles)

(VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES)

Parámetro	Unidades*	USO DEL SUELO			
		Residencial	Comercial	Industrial	Agrícola
<b>Parámetros Generales</b>					
Conductividad	uS/cm	200	400	400	200
pH	-	6 a 8	6 a 8	6 a 8	6 a 8
Relación de adsorción de Sodio (Índice SAR)	-	5	12	12	5
<b>Parámetros inorgánicos</b>					
Arsénico	mg/kg	12	12	12	12
Sulfuro	mg/kg	-	-	-	500
Bario	mg/kg	500	2000	2000	750
Boro (soluble en agua caliente)	mg/kg	-	-	-	2
Cadmio	mg/kg	4	10	10	2
Cobalto	mg/kg	50	300	300	40
Cobre	mg/kg	63	91	91	63
Cromo Total	mg/kg	64	87	87	65
Cromo VI	mg/kg	0.4	1.4	1.4	0.4
Cianuro	mg/kg	0.9	8	8	0.9
Estaño	mg/kg	50	300	300	5
Fluoruros	mg/kg	400	2000	2000	200
Mercurio	mg/kg	1	10	10	0.8
Molibdeno	mg/kg	5	40	40	5
Níquel	mg/kg	100	100	50	50
Plomo	mg/kg	140	150	150	60
Selenio	mg/kg	5	10	10	2
Talio	mg/kg	1	1	1	1
Vanadio	mg/kg	130	130	130	130
Zinc	mg/kg	200	380	360	200
<b>Parámetros orgánicos</b>					
Aceites y grasas	mg/kg	500	<2500	<4000	<4000
Benceno	mg/kg	0.08	5	5	0.03
Etilbenceno	mg/kg	0.1	20	20	0.1
Estireno	mg/kg	5	50	50	0.1
Tolueno	mg/kg	0.37	0.8	0.8	0.08

**Imagen 9:** Valores máximos permisibles tabla 2 del acuerdo ministerial 097 A.

## AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Yuli del Cisne Huanca Robles portadora de la cédula de ciudadanía N.º 0750196065. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Efecto del bokashi en suelos contaminados provenientes de actividades mineras auríferas del sector Caluguro cantón Santa Rosa provincia de El Oro” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 26 de enero de 2023

F:  .....

Yuli del Cisne Huanca Robles

0750196065