



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE



TESIS

**TECNOLOGÍA DEL VERMICOMPOST EN LA REDUCCIÓN DE
PLOMO Y COBRE DE SUELOS CON PASIVOS MINEROS EN
SILLUTA CABANILLAS – PUNO, PERÚ**

PRESENTADA POR:

ESTEBAN MARÍN PAUCARA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

PUNO, PERÚ

2023

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

TECNOLOGÍA DEL VERMICOMPOST EN LA REDUCCIÓN DE PLOMO Y COBRE DE SUELOS CON PASIVOS MINEROS EN SILLUT

AUTOR

Esteban Marín Paucara

RECuento DE PALABRAS

37104 Words

RECuento DE CARACTERES

189594 Characters

RECuento DE PÁGINAS

125 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

9.3MB

FECHA DE ENTREGA

Apr 11, 2023 7:31 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Apr 11, 2023 7:33 PM GMT-5

5% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 4% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)

V°B°

Firmado digitalmente por SALAS
URVIOLA Fernando Benigno FAU
20145466170 soft
Motivo: Doy V° B°
Fecha: 12.04.2023 10:27:38 -05:00

Universidad
Nacional
del Altiplano



Firmado digitalmente por
BENAVENTE FERNANDEZ Sofia
Leundes FAU 20145496170 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 12.04.2023 07:40:24 -05:00



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

TESIS

**TECNOLOGÍA DEL VERMICOMPOST EN LA REDUCCIÓN DE
PLOMO Y COBRE DE SUELOS CON PASIVOS MINEROS EN
SILLUTA CABANILLAS – PUNO, PERÚ**

PRESENTADA POR:
ESTEBAN MARÍN PAUCARA

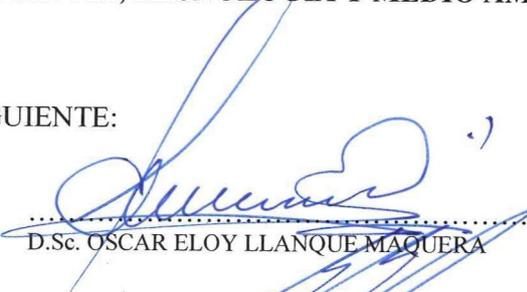


PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

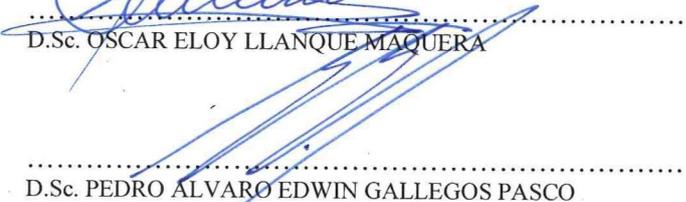
DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

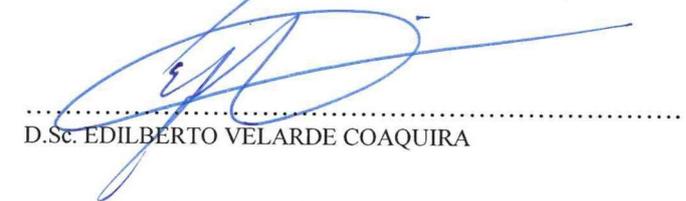
PRESIDENTE


.....
D.Sc. OSCAR ELOY LLANQUE MAQUERA

PRIMER MIEMBRO


.....
D.Sc. PEDRO ALVARO EDWIN GALLEGOS PASCO

SEGUNDO MIEMBRO


.....
D.Sc. EDILBERTO VELARDE COAQUIRA

DIRECTOR DE TESIS


.....
Dra. SOELA LOURDES BENAVENTE FERNÁNDEZ

Puno, 29 de marzo de 2023

ÁREA : Ciencias de la ingeniería.
TEMA : Tecnología ambiental.
LÍNEA : Recursos naturales y medio ambiente.



DEDICATORIA

*A Dios Padre Celestial Omnipotente por dotarme
salud, fuerza, sabiduría y guiarme día a día por
el camino correcto y lograr el éxito en vida profesional.*

*A mi querida madre Francisca Rosario,
gloria eterna a mi distinguido padre Jacinto
y mi hermano Eusebio Narcizo, que me han
inculcado cultivar buenos valores y consejos
de seguir adelante como persona.*

*Con amor y cariño, a mi esposa
Eladia Elsa, a mis hijos Grover,
Ronald, y a mi nietecito Ghael del
Piero, que son parte de vida
cotidiana.*

Esteban



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano Puno - Perú, la Escuela de Posgrado, Programa de Doctorado en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, sus docentes por impartirme los conocimientos suficientes y necesarios, con los cuales he podido llevar a cabo esta investigación.

Mi profundo gratitud a mi esposa y a mis hijos por su apoyo incondicional en todo momento para hacer realidad este anhelado trabajo de investigación doctoral.

Sincero reconocimiento a los doctores revisores por sus sugerencias para el afinamiento del desarrollo de la tesis,

Esteban

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
ÍNDICE GENERAL	III
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE ANEXOS	IX
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	X
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA.

1.1 Marco teórico	3
1.1.1 El suelo y su composición.....	3
1.1.2 Propiedades físicas y química de los suelos.....	3
1.1.3 Tipos de suelos.....	5
1.1.4 Degradación de los suelos.....	5
1.1.5 Contaminación de suelos.....	7
1.1.6 Contaminación de suelos por metales pesados	8
1.1.7 Actividad minera y contaminación de suelos.....	9
1.1.8 Metales pesados en los suelos	11
1.1.9 Toxicidad de metales pesados.....	12
1.1.10 Tecnologías de remediación de suelos.....	15
1.1.11 Tecnologías biológicas de remediación de suelos	16
1.1.12 Biorremediación de suelos que contiene metales pesados.....	17
1.1.13 El vermicompost (latín <i>vermis</i> = gusano)	18
1.1.14 Tecnología del vermicompost.....	21
1.1.15 Minimización de toxicidad de residuos sólidos y metales pesados con lombrices.....	23
1.2 Antecedentes	24



CAPÍTULO II.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del problema	30
2.2 Enunciado del problema	31
2.2.1 Pregunta general.....	31
2.2.2 Preguntas específicas	32
2.3 Justificación.....	32
2.4 Objetivos	33
2.4.1 Objetivo general.....	33
2.4.2 Objetivos específicos	33
2.5 Hipótesis.....	33
2.5.1 Hipótesis general.....	33
2.5.2 Hipótesis específicos.....	34

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1 Lugar de estudio.....	35
3.1.1 Ubicación	35
3.1.2 Accesibilidad.....	35
3.1.3 Aspectos medioambientales, culturales y sociales.....	35
3.2 Población.....	37
3.3 Muestra	37
3.3.1 Tamaño de muestra	37
3.3.2 Muestreo en cancha de pasivo minero	38
3.3.3 Preparación de muestras para la experimentación con la tecnología del vermicompost a nivel de laboratorio.....	40
3.3.4 Preparación de muestras para análisis de laboratorio.....	42
3.3.5 Recolección de datos.....	43
3.4 Métodos de investigación.....	46
3.4.1 Tipo de investigación	46
3.4.2 Diseño de investigación	47
3.4.3 Análisis estadístico de datos.....	48
3.5 Descripción detallada de los métodos por objetivos específicos	49
3.5.1 Descripción de técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	49

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Resultados del proceso experimental de suelo contaminado con pasivos mineros	52
4.1.1 Lombrices de tierra en la experimentación del vermicompost	52
4.1.2 Temperatura (°C) y pH en la experimentación con vermicompost	53
4.1.3 Combinación de °C y pH en celdas de experimentación por repeticiones	54
4.2 Resultados experimentales de reducción de plomo en suelos con pasivos mineros	59
4.2.1 Análisis de reducción del contenido de plomo en muestras	59
4.2.2 Reducción de contenido de Pb con vermicompost por repeticiones	61
4.2.3 Reducción de plomo (Pb) en muestras de pasivos mineros de Silluta	66
4.2.4 Análisis de varianza (ANOVA) para plomo (Pb)	67
4.2.5 Prueba de hipótesis para plomo (Pb) con distribución F	68
4.2.6 Comparación de medias muestrales de Pb con Método Tukey	69
4.2.7 Modelo experimental en disminución de porcentaje de plomo	70
4.3 Resultados experimentales de reducción de cobre en suelos con pasivos mineros	71
4.3.1 Análisis de reducción de contenido de cobre en suelos con vermicompost	71
4.3.2 Reducción de contenido de Cu con vermicompost por repeticiones	72
4.3.3 Reducción de cobre (Cu) en muestras de pasivos mineros de Silluta	77
4.3.4 Análisis de varianza (ANOVA) para cobre (Cu)	78
4.3.5 Prueba de hipótesis para cobre (Cu) con distribución F	80
4.3.6 Comparación de medias muestrales de Cu con Método Tukey	80
4.3.7 Modelo experimental en disminución de porcentaje de cobre	81
4.4 Discusión de resultados de reducción del plomo y cobre	82
4.4.1 Discusión sobre reducción de plomo	82
4.4.2 Discusión sobre reducción de cobre	85
CONCLUSIONES	87
RECOMENDACIONES	88
BIBLIOGRAFÍA	89
ANEXOS	96

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. La actividad minera y el impacto al ambiente en cada una de las etapas.	10
2. Composición de nutrientes del vermicompost y compost	21
3. Accesibilidad al lugar de estudio.	36
4. Preparación y distribución de lombrices en las celas de experimentación.	41
5. Contenido de plomo y cobre en muestras de suelo (in situ) mina silluta.	44
6. Contenido de plomo y cobre en muestras de suelo tratadas por 30 días	45
7. Contenido de plomo y cobre en muestras de suelo tratadas por 60 días	45
8. Datos promedio de temperatura de muestra del proceso de experimentación.....	46
9. Datos promedio de pH del proceso de experimentación.	47
10. Análisis de varianza (ANOVA) para datos experimentales.	48
11. Fórmulas de análisis de varianza ANOVA.....	48
12. Lombrices de tierra en las celdas de experimentación.....	52
13. Temperatura (°C) en muestras de suelo durante la experimentación.	53
14. Potencial de hidrógeno (pH) en muestras de suelo en periodo del experimento.....	54
15. Temperatura (°C) y pH de muestras en celdas de primera repetición.	55
16. Temperatura (°C) y pH de muestras en celdas de segunda repetición.....	56
17. Temperatura (°C) y pH de muestras en celdas de tercera repetición.....	57
18. Temperatura (°C) y pH de muestras en celdas de cuarta repetición.	58
19. Porcentaje, media y varianza de plomo (Pb) de muestras de suelo.	60
20. Concentración de plomo tratados con lombrices en la primera repetición.....	61
21- Concentración de plomo tratados con lombrices en la segunda repetición.....	62
22. Concentración de plomo tratados con lombrices en la tercera repetición.	63
23. Concentración de plomo tratados con lombrices en la cuarta repetición.....	65
24. Contenido y reducción de plomo (Pb) en muestras de pasivos mineros.	66
25. Resultados de análisis de varianza (ANOVA) para plomo (Pb).....	68
26. Diferencias de medias muestrales con el Método Tukey ($t_{\alpha 30}$ y $t_{\alpha 60}$) para plomo. ...	70
27. Porcentaje, media y varianza de cobre (Cu) en muestras de suelo.	72
28. Contenido de cobre tratados con lombrices en la primera repetición.....	73
29. Contenido de cobre tratados con lombrices en la segunda repetición	74
30. Contenido de cobre tratados con lombrices en la tercera repetición	75
31. Contenido de cobre tratados con lombrices en la cuarta repetición	76
32. Contenido y reducción de cobre (Cu) en muestras de pasivos mineros.	77



33. Resultados de análisis de varianza (ANOVA) para cobre (Cu).....	79
34. Diferencias de medias muestrales con el Método Tukey ($t_{\alpha 30}$ y $t_{\alpha 60}$) para cobre.....	81



ÍNDICE FIGURAS

	Pág.
1. Clasificación de tecnología de remediación de suelos.....	16
2. Proceso de vermicompost en un vermicompost-ador.	19
3. Lombrices de tierra en vermicompost.	22
4. Pasivos mineros de silluta, cabanillas, san román, puno, Perú.	33
5. Puntos de muestreo en pasivo minero silluta.....	39
6. Celdas en proceso de tratamiento del vermicompost de 30 y 60 días.	42
7. Preparación y embolsado de muestras para análisis en laboratorio.....	43
8. Gráfico combinado de °C y pH en celdas de primera repetición.....	55
9. Gráfico combinado de °C y pH en celdas de segunda repetición.	56
10. Gráfico combinado de °C y pH en celdas de tercera repetición.	57
11. Gráfico combinado de °C y pH en celdas de cuarta repetición.	58
12. Gráfico combinado de lombrices y plomo en primera repetición.	62
13. Gráfico combinado de lombrices y plomo en segunda repetición.....	63
14. Gráfico combinado de lombrices y plomo en tercera repetición.	64
15. Gráfico combinado de lombrices y plomo en cuarta repetición.	65
16. Gráfico de reducción de plomo en muestras de pasivos mineros.	67
17. Gráfico combinado de lombrices y cobre en primera repetición.....	73
18. Gráfico combinado de lombrices y cobre en segunda repetición.	74
19. Gráfico combinado de lombrices y cobre en tercera repetición.	75
20. Gráfico combinado de lombrices y cobre en cuarta repetición.	76
21. Gráfico de reducción de cobre en muestras de pasivos mineros.	78



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Proceso de muestreo de minerales triturados, mina silluta.....	97
2. Técnica del cuarteo para obtener muestra necesaria, mina silluta	98
3. Preparación y colocado de muestras en las celdas de experimentación de vermicompost	99
4. Celdas en proceso de tratamiento del vermicompost de 30 y 60 días	100
5. Preparación y embolsado de muestras tratadas para análisis en laboratorio	101
6. Hoja de datos para análisis de laboratorio 23-02-2022.....	102
7. Hoja de datos para análisis de laboratorio 18-03-2022.....	103
8. Informe de ensayo las01-sd-22-00005.....	105
9. Informe de ensayo las01-sd-22-00006.....	106
10. Informe de ensayo las01-sd-22-00014.....	108
11. Mini anemómetro digital ut363, y termómetro infrarrojo ut300s.....	109
12. Probador ph / temperatura multifuncional ph 61181	110
13. Croquis de ubicación del lugar de estudio – silluta, cabanillas	111
14. Declaracion jurada de autenticidad de tesis.....	112
15. Autorización para el depósito de tesis o trabajo de investigación en el repositorio institucional.....	113



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AAS	: ácido acetilsalicílico
ATSDR	: Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades
EPA	: Agencia de Protección Ambiental
EPT	: elementos potencialmente tóxicos
FAO	: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
ICP	: Interruptor de Control de Potencia
ISRIC	: Centro Internacional de Referencia e Información en Suelos
LAS	: Laboratorios Analíticos del Sur
LGNS	: <i>Leading Group on National Security</i> (Grupo Rector de Seguridad Nacional)
NTC	: Norme Técnica Colombiana
PAMs	: pasivos ambientales mineros.
<i>Off Site</i>	: instalaciones externas
OES	: Organización para la Excelencia de la Salud
OMS	: Organismo Mundial de la Salud
<i>On Site</i>	: mismo lugar
PVC	: Policloruro de Vinilo
SINC	: Servicio de Información y Noticias Científicas
UNESCO	: Organización de las Naciones Unidas para la Cultura, las Ciencias y la Educación



RESUMEN

En la actualidad existe pasivos ambientales mineros en la Región de Puno, así como en la localidad de Silluta Cabanillas, los suelos están contaminados con metales pesados como el plomo, cobre y otros minerales extraídos de interior mina, que ocasionan impactos ambientales negativos a los ecosistemas terrestres y acuáticos causando efectos en la salud humana, esto debido a las actividades mineras realizadas en la décadas del 60 al 70 del siglo pasado, por lo que el estudio de biorremediación se desarrolló en la ciudad de Puno la experimentación a nivel de laboratorio durante el periodo 2019 – 2022, planteándose como objetivo aplicar la tecnología del vermicompost en la reducción de la concentración de plomo y cobre con diferentes tratamientos y tiempos en muestras de suelos con pasivos ambientales mineros de la localidad de Silluta Cabanillas – Puno, Perú, y para el logro de este propósito el estudio es de tipo explicativo con diseño experimental, donde se utilizó celdas, tratamiento con lombrices de tierra, estiércol, tierra de cultivo, termómetro y pH-metro, y así se aplicó la tecnología del vermicompost con diferentes tratamientos con 20, 30, 40 lombrices y tiempos de 30 y 60 días, y para el análisis de datos se utilizó el análisis de varianza con el que se ha obtenido resultados de reducción porcentual de plomo en 26,6941 % y 19,7592 % de reducción de cobre en las muestras de suelos con pasivos mineros de la localidad, con el que se logra los objetivos trazados y se acepta la hipótesis planteada.

Palabras clave: actividad minera, cobre, metales pesados, plomo, suelo, vermicompost.



ABSTRACT

There are currently mining environmental liabilities in Puno Region, specifically in town of Silluta Cabanillas, the soils are contaminated with heavy metals such as lead, copper, and other minerals extracted from inside the mine, which harm the terrestrial and aquatic environment and human health, the aforementioned originates in the mining activities carried out in the 60s and 70s, which is why the bioremediation study was developed in Puno, the laboratory experiments carried out during the 2019 - 2022 period, aimed to apply the vermicompost technology to reduce the concentration of lead and copper using different treatments and times on soil samples with mining environmental liabilities in the town of Silluta-Cabanillas Puno, Peru. For this purpose, the study is of an explanatory type with experimental design, in which cells, treatment with earthworms, manure, cultivated soil, thermometer, and pH-meter were used, resulting in vermicompost technology that used 20, 30, and 40 earthworms as well as times of 30 and 60 days. Analysis of variance was used for data analysis, the results showed a percentage reduction of 26,6941 % in lead and 19,7592 % in copper reduction in the samples of soils with mining liabilities in the premises, achieving the objectives and accepting the hypothesis.

Keywords: mining activity, copper, heavy metals, lead, soil, vermicompost

INTRODUCCIÓN

En estos últimos décadas la humanidad ha tenido bastante avance en la tecnología tales como la remediación de suelos por diferentes métodos, entonces en esta oportunidad me dedico a mejorar los suelos que implica llevar a cabo la disminución del contenido de los metales pesados tales como el plomo y cobre en los suelos de la localidad de Silluta, mina que fue explotada años atrás, que está en la jurisdicción del distrito de Cabanillas, provincia de San Román, del departamento de Puno, Perú, así es que aplicando la tecnología de vermicompost a nivel de laboratorio se mejora la calidad del suelo, el cual se obtiene realizando estudio con el tratamiento con organismos en tiempos diferentes cuya experimentación se lleva utilizando lombrices de tierra para la recuperación del suelo contaminado con metales pesados, los cuales han posibilitado lograr dicho propósito con resultados expectantes, tal como se espera en la remediación de suelos vulnerados.

Esta tecnología como parte de la biorremediación de los suelos contaminados con elementos metálicos nocivos generados por las actividades antropogénicas dedicadas al aprovechamiento de los recursos mineros sin prevención donde han dejado los suelos con una potencialidad de pasivos ambientales en la actualidad, por lo que se ha pretendido obtener como una alternativa de solución para este tipos de casos en la región, donde el propósito del estudio experimental es reducir el contenido de plomo y cobre mediante el uso de la tecnología del vermicompost que está al alcance de realizarlo a nivel piloto y siendo posible aplicar en cualquier parte del territorio deteriorado por los metales pesados que son parte de impactos ambientales negativos.

Este informe final de investigación experimental está estructurado conforme al esquema que presenta la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, cuyo contenido es de la siguiente forma: resumen; abstract; introducción. Capítulo I, que comprende revisión de literatura suficiente referido a los suelos contaminados, la tecnología del vermicompost y temas pertinentes como son los estudios previamente realizados. Capítulo II, se refiere al planteamiento del problema, donde se consigna la descripción y formulación del problema, se justifica el estudio, trazado de los objetivos a lograr y se plantea las hipótesis correspondientes. Capítulo III es referido a materiales y métodos donde se describe y explica el lugar de estudio, la población y muestra, las estrategias, los procedimientos y los materiales utilizados a fin de obtener los resultados de la investigación según los objetivos específicos. Capítulo IV, que viene a ser la parte



fundamental del estudio que son los resultados y discusión, que comprende la descripción y la explicación de los resultados obtenidos en forma detallada y con ello se realiza la discusión del tema con los estudios previamente ejecutados; como parte final se presenta las conclusiones y recomendaciones, así como las referencias bibliográficas y los anexos correspondientes.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Marco teórico

1.1.1 El suelo y su composición

Los suelos son considerados como la superficie del planeta tierra, con un espesor delgada y a su vez frágil, el cuál es muy importante ya que junto a ésta se encuentra la roca, al cual en su conjunto es llamado litósfera, el aire se encuentra por arriba conocido como atmósfera y por el suelo atraviesa el agua que es denominado hidrósfera y ésta proviene desde la atmosfera llegando hasta los suelos en estado líquido, entonces el suelo es el lugar en que se juntan el agua, aire y la roca, donde viven muchos microorganismos y organismos como por ejemplo las lombrices, hormigas, termitas y todo un conjunto de plantas, a su vez este suelo puede transformar residuos de plantas a humos; sin embargo el suelo con mineral con acumulación de materia orgánica es poco fértil y con el agua de la lluvia pierde sus nutrientes por que se lava en esa pequeña profundidad que oscila entre 25 a 50 cm (Bautista, 2017), a su vez la cobertura de suelo es todo aquello que cubre esta capa con la vegetación, nieve permanente y campos de hielo, cuerpos de agua, edificaciones, tierra árida o estéril, incluyen también predios con edificaciones, tierras de cultivo, pastos, humedales, bosques, áreas de agua; el suelo viene a ser la base estructural para la realización de cualquier actividad del ser vivo ya sea animal, vegetal y el ser humano, la misma que está limitado por la extensión de la superficie en el planeta tierra, además el uso del suelo en un predio en particular excluye la existencia del resto y viceversa, y ésta se refleja en el ordenamiento territorial . (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2016).

1.1.2 Propiedades físicas y química de los suelos

Diferentes autores referidos a esta temática indican que son muy importantes en el uso de los terrenos para la diversidad de las actividades antropogénicas a fin de sobrevivir en la fas de la tierra; entre estas propiedades de los suelos se tiene:

Propiedades físicas del suelo

Las características físicas de un determinado suelo lo define la rigidez y la fuerza del soporte, la facilidad para el ingreso de las raíces hacia la profundidad, la aireación de la superficie, la capacidad de almacenamiento y el drenaje o escurrimiento del agua,

la plasticidad del material cuaternario, y la retención de nutrientes muy importantes para la vegetación, por eso se considera sumamente necesario para la humanidad que están insertados en el uso de la tierra y saber las propiedades físicas del suelo y de esa manera entender en qué medida, cómo influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas, por lo que la actividad humana cómo puede llegar a cambiar y mantener en mejores condiciones físicas del suelo para su aprovechamiento en beneficio de la sociedad; entre las propiedades más importantes del suelo son: *la textura* (se origina de la roca madre en el que presenta como material arcilloso, limoso, arenoso dependiendo del tipo de roca que proviene, esto según el tamaño de la partículas, y este proceso es conocido como la evolución del suelo), *porosidad* espacio que depende de la textura y estructura del suelo (se pueden destacar macroporos que son los que avalan el drenaje y aireación del suelo y son los espacios que desarrollan las raíces, y microporos son los que retienen el agua, parte de la cual es disponible para las plantas). La porosidad total o espacio poroso del suelo se define como el arreglo de las partículas constituyentes del suelo, es decir que determina el espacio entre las fracciones granulométricas existentes (arena, arcilla y limo) y se puede definir como macroestructura y microestructuras (Rucks *et al.*, 2004), por otra parte (Leoni, 2015) indica que las propiedades físicas de las partículas del suelo son: *peso específico* (arenas: $2,65 \text{ kg/dm}^3$ y arcillas: $2,5 - 2,9 \text{ kg/dm}^3$), *tamaño* que con duce al análisis de la composición granulométrica, *forma y características mineralógicas* se distingue pasando el tamiz N° 200 en las que pueden ser angulares, escamosas, redondeadas, ocasionalmente formas de agujas, y las partículas de minerales secundarios en forma de escamas son desgastados con facilidad, y *rugosidad* de importancia a simple vista.

Propiedades químicas de suelo

En forma genérica la composición química elemental de los suelos se diversifica según a la naturaleza de la roca madre y presenta cambios producidos por el proceso de la meteorización, almacenamiento de la materia orgánica y según las prácticas de manejo del suelo, así mismo el factor importante es la movilidad relativa de los diferentes elementos, que causa las pérdidas diferenciales en los procesos de meteorización de la roca y consecuentemente en la formación del suelo; así se tiene el SiO_2 que es el componente más abundante en las rocas ígneas y por ende en la mayoría de los suelos, mientras que Ca, Mg, K y Na se presentan en bajos porcentajes en comparación al anterior debido a su remoción que ha sido ocasionado durante la

meteorización de la roca y del suelo, a su vez sus fracciones no son uniformes en la composición química, esta se puede diferenciar al presentar su composición mineralógica, tales como el cuarzo (SiO_2) predomina en la arena y limo, y éstas generalmente son inactivas químicamente, por otra parte las arcillas químicamente son silicatos aluminicos que pueden contener F, Mg, Na, K, y otros en su estructura que tienen la capacidad de adsorber y ceder una serie de iones (Rucks *et al.*, 2004).

1.1.3 Tipos de suelos

Los tipos de suelos están determinados en función al tamaño de partícula, las mismas pues están dadas en cuatro componentes principales como son: la arcilla cuyo tamaño de la partícula es considerado menores a 0,002 mm, así mismo el limo varía en su tamaño de 0,002 mm a 0,05 mm, en cuanto a la arena varía el tamaño de partícula de 0,05 a 2 mm, y partículas de la grava son mayores a 2 mm, por lo que cada tipo de partícula mineral determinan la textura del suelo que tienen impacto directo sobre sus propiedades físicas, químicas y biológicas; por otra parte conforme al sistema FAO/UNESCO/ISRIC de 1988, los suelos internacionalmente se clasifican en unidades o categorías de acuerdo a ciertas características generales que presentan en su morfología y composición, con propiedades visibles de sentir o medir como por ejemplo la textura, estructura, la profundidad, el color y la composición química, así también otras características pueden ser los horizontes, el grosor, el número y la naturaleza de las capas y otros factores; entonces según esta clasificación de suelos, en la actualidad existen 28 unidades principales y 153 subunidades y en el mundo son 28 categorías reconocidas como son: Leptosoles, Regosoles, Calcisoles, Feozems, Vertisoles, Arenosoles, Cambisoles, Luvisoles, Gleysoles, Alisoles, y otras (Volke *et al.*, 2005).

1.1.4 Degradación de los suelos

Los suelos son utilizados de una manera preferentemente primario entonces es susceptible a ser impactado de diferentes formas de degradación y hasta inclusive puede llegar a una pérdida irreversible del suelo por el impacto de la ocupación, la contaminación, y la sobreexplotación del suelo; por lo que la *ocupación del suelo* conduce a las degradaciones como por ejemplo: por la construcción de infraestructuras, así como la explotación de yacimientos minerales y de energía, o también por la ocupación de lugares de interés cultural tales como se ven las

expansiones urbanas, construcción de las vías de comunicación que hace la pérdida de tierras con capas de concreto o asfalto que degradan por contaminación de gases y ruidos, establecimiento de complejos hidroeléctricos, embalses, modificación de drenajes de suelo, la alteración de la topografía del terreno, que con su ocupación agravan y llegan a ser irreversible dichos suelos, así lo mismo la explotación minera metálica y no metálica se considera también como impacto de ocupación, aunque con esta actividad a diferencia de las anteriores es posible recuperar el suelo mediante la rehabilitación del terreno, sin embargo la minería subterránea y a cielo abierto con la extracción de los materiales, minerales y escombros que son acumulados generan problemas, tanto el ruido, polvo y vibraciones generados por la maquinaria y explosivos utilizados que causan perturbaciones en el medio ambiente, lo propio ocurre con la extracción del petróleo, gas natural, sales y aguas subterráneas utilizando perforaciones profundas; así mismo la contaminación es considerada como un degradante primario cuando tiene un efecto en forma directa al ambiente, estas contaminaciones se dan o tienen lugar en el suelo, el agua y la atmósfera, la contaminación está dada por las diferentes actividades realizadas por el hombre tales como la actividad agrícola, minera, desechos de origen animal, desperdicios domésticos, actividad industrial, entre otros (López, 2002); por otro lado, Sánchez & Velis (2009) ha indicado que la causa principal de la degradación de los suelos es el uso inadecuado que realizan las personas por ignorar, diversos casos que probablemente en la mayoría de ellos sea por estar sometido a presiones sociales, económicas y políticas que los obliga a la utilización incorrecta e intensivo del suelo, que no son acorde a las capacidades del terreno, por eso se conoce los diferentes tipos de degradación del suelo como son la erosión que conlleva al arrastre de las partículas más finas del suelo por el agua y el viento que es un tipo de degradación con mayor frecuencia que trae mayor problema por irreversibilidad, otro es el regadío que trae la salinización del suelo, la contaminación del suelo por los vertidos y efluentes de la actividad industrial, energética y transporte y también por deterioro de la productividad de las superficies del suelo, aun más es la presentación de desertificación a causa de los sistemas de explotación y la intensidad de la presión que reciben las personas y animales que están sobre los ecosistemas, especialmente por la aridez y las sequías que causa los efectos de los fenómenos de desertificación del suelo; así mismo Bautista (2017) indica que el suelo es el recurso ambiental más degradado y en todo el mundo los mejores suelos se están degradando por la acción

de la erosión, compactación, salinización, etc., y como consecuencia se tiene la desaparición de la cantidad y calidad del agua, el calentamiento global, la pérdida de fertilidad y estructura, y se crea la atmósfera sucia siendo los efectos más comunes.

1.1.5 Contaminación de suelos

Por haberse llevado la actividad minera en el país se ha producido el deterioro ambiental justamente donde estaban ubicados las minas, dicha actividad se desarrolló desde la cultura pre inca hasta nuestros días, pero que en años atrás se ha dejado los denominados pasivos ambientales mineros en diferentes regiones del país así como en Huancavelica, Cuzco , Apurímac, Ayacucho, lugares donde se han abandonado más de un centenar y medio de minas que han contaminado las cuencas hidrográficas con el drenaje ácido de roca, y por eso se ha creado en 2001 el Proyecto de Eliminación de Pasivos Ambientales, a fin inventariar, evaluar, diagnosticar y remediar los impactos producidos al ambiente por cada uno de los pasivos ambientales mineros (PAMs) con el propósito de hacer desaparecer los efectos negativos ocasionados a la salud pública, a la flora, a la fauna, y a la actividad económica que lo realizan las personas; así también los suelos pueden sufrir un impacto por efectos de la contaminación, que se originan provenientes de los pasivos ambientales mineros que llegan al suelo por la acción del viento o el agua, y la inadecuada disposición sobre el suelo, como los desmontes de mina, relaves, pilas de lixiviación y otros residuos y químicos (Chávez, 2015), así mismo el suelo se contamina cuando existe una degradación química la que provoca la disminución parcial o total de la productividad a consecuencia de las actividades de los seres humanos denominados exógenas o actividades naturales denominados endógenas, que en ellos se realizan procesos de acumulación de sustancias tóxicas en concentraciones que superan la amortiguación natural del suelo y que modifican negativamente sus propiedades, así tenemos suelos muy evolucionados formados sobre rocas serpentinizadas donde se tienen altos contenidos en metales pesados como el Cr, Ni, Cu y Mn, etc., y así el suelo ejecuta su trabajo protectora mediante su poder de amortiguación o capacidad natural de ejercer la depuración de la contaminación del sitio, donde estos elementos que son nocivos y contaminantes del suelo se realizan a través de reacciones complejas de adsorción y desorción, de precipitación y disolución, de oxidorreducción, ácido-base y otros, donde todas estas reacciones están controladas por propiedades del suelo como su textura, estructura,

porosidad, capacidad de intercambio catiónico, pH y la actividad microbiológica que son pues por la acción del poder de amortiguación del suelo que no es ilimitado y cuando se sobrepasa lo indicado, dicho suelo deja de ser eficaz y puede llegar a convertirse en una fuente de contaminación inclusive para los organismos del suelo y del medio que los circunda; además de las sustancia contaminantes es preciso tomar en cuenta la carga crítica que permite al suelo que ésta no se pueda contrarrestar con el poder de amortiguación, entonces se deduce que los suelos reaccionan de diferente forma que estará condicionada por la vulnerabilidad específica de cada suelo (Ortiz *et al.*, 2007); además se tiene contaminantes poco estudiados y valorados como es el polvo urbano, compuesto por partículas de cenizas, suelo, polen y semillas liberadas al medio ambiente, y los metales pesados se encuentran en dichas partículas, que está relacionado con lo que entra al cuerpo humano, es decir estas pequeñísimas partículas que pueden ser más de 10 micras (grandes) son los que ingresan por las fosas nasales, los de tamaño medio de unos 5 micras llegan a los pulmones y las que son menores de 2,5 micras ingresan a los alveolos, y estas por si solas ya son tóxicas en los pulmones y si contienen metales pesados el poder tóxico se agranda; así las investigaciones que se han realizado recientemente han identificado el color del polvo urbano está enlazado con la concentración de metales pesados, siendo los colores grises a negros que es el polvo urbano son los que presentan mayores concentraciones de metales pesados destacándose el plomo, mientras que otros colores están más relacionados con los suelos del lugar, y en caso de presentarse altos contenidos de dichos metales puede considerarse como un residuo peligroso para la humanidad (Bautista, 2017).

1.1.6 Contaminación de suelos por metales pesados

Muchos elementos intervienen en la contaminación de los suelos, que representan nivel de riesgo como la presencia de algunos iones metálicos, con capacidad de lixiviación de cadmio, plomo y zinc que en esta muestra excedió los criterios de aceptación de residuos de la Unión Europea (UE) para residuos peligrosos lo que significa que el suelo de muestreo S3 sería demasiado tóxico inclusive para ser dispuesto en el lugar de desechos peligrosos, donde las concentraciones más altas que se presentan son de 41 mg/kg de aluminio (Al), 32 mg/kg de cadmio (Cd), 1,66 mg/kg de hierro (Fe), 109 mg/kg de plomo (Pb) y 898,7 mg/kg de zinc (Zn), de hecho, las concentraciones lixiviables de cadmio, plomo y zinc harían que el suelo fuera

demasiado tóxico (Rodríguez *et al.*, 2017); por otra parte, Volke *et al.*, (2005) indica que la excavación de minas, la remoción de minerales, el proceso y la extracción de metales pueden ocasionar daños ambientales, así puede llegar extremadamente a ecosistema enteras, por ejemplo malograr tierras de cultivo, pueden contribuir a la erosión y causar contaminación a los diferentes cuerpos de agua con elementos potencialmente tóxicos (EPT) tales como As, Se, Pb, Cd y óxidos de azufre (S), otros y sales solubles, como también el material que se extrae de la excavación subterránea pueden producir volúmenes de residuos hasta ocho veces por encima de la original, por otro parte las industrias que están especializadas en el procesamiento de los metales tales como las siderurgias y los procesos metalúrgicas pueden emitir partículas muy pequeñas que suelen ser micrométricas, siendo ellos fácilmente transportables por el viento a distancias bastante considerables causando problemas en la salud de las personas y seres vivientes.

1.1.7 Actividad minera y contaminación de suelos

Las actividades mineras causan impactos ambientales considerables, destruyendo los terrenos naturales y creando nuevos suelos denominados Antrosoles las que presentan consistentes limitaciones físicas, químicas y biológicas que hace difícil de realizar la revegetación inmediata, con consecuencias negativas de destrucción de la estructura del suelo y una modificación de sus características texturales, con una disminución de fracción de arcilla e incremento de fracciones más gruesas, conduciendo a su vez una acidificación asociada a los procesos de oxidación y especies químicas tóxicas que limitan la actividad biológica conllevando a la ruptura de los ciclos biogeoquímicos llegando a dificultar el enraizamiento de la plantas reduciendo la capacidad del cambio y la capacidad de retención del agua en el suelo (Ortiz *et al.*,2007); por otro lado, así el impacto de la actividad minera sobre el ambiente y la salud humana se relaciona con la composición química del mineral, el modo de explotación, el tratamiento o beneficio, el tamaño de las operaciones y las características del entorno de la unidad minera, así mismo menores impactos ambientales de las actividades mineras, se pueden ver en tratamiento de mineral por el procesos de flotación simple con un agente espumante pero el impacto se incrementa a medida que se adiciona el uso de reactivos a fin mejorar la flotación, mientras que en proceso de la lixiviación el impacto es mucho mayor, por estos

motivos la tabla 1 muestra la descripción de las fases del proceso de actividad minera y como afecta al ambiente en cada una de las etapas (Volke *et al.*, (2005).

Tabla 1

La actividad minera y el impacto al ambiente en cada una de las etapas.

Etapa	Descripción	Impacto al ambiente
Prospección	Estudios de gravimetría, geología superficial, densidad, etc.	Procesos que no generan impactos ambientales significativos
Exploración	Perforación, obras, construcción de carreteras y campamentos.	Desintegración de la vegetación
Explotación y beneficio	Desbroce: desaparición del suelo y vegetación.	Desintegración de la capa del suelo y la vegetación.
	Construcción y obras diversas (galerías, socavones, patios de depósito).	Abatimiento de cuerpos de agua. Se originan de terreros inestables. Generación de jales o colas: residuos minerales sin valor.
	Gran consumo de agua.	
	Acumulación de material terroso sin valor.	Escurrimientos y arrastres de residuos.
	Transporte del material con valor hacia molinos.	Oxidación de minerales insolubles y constitución de sustancias solubles con gran contenido de metales (drenaje ácido).
	Extracción y concentración de minerales.	
	Reducción de trozos del mineral por trituración y molienda.	Descarga de lixiviados con contenidos de iones metálicos y reactivos tóxicos.
Tratamientos antes a una fusión primaria o electro depositación.	La trituración y molienda pueden causar ruido, vibración y producción de polvo.	
Fundición y refinación	Obtención de metales y sus aleaciones mediante hornos industriales.	Se originan aguas residuales, residuos peligrosos, emisiones al aire.
	Eliminación de impurezas en los metales y obtener alta ley de contenido	

Fuente: Volke *et al.*, (2005) (Gutiérrez 2003, Gutiérrez y Moreno 1997).

Suelos con relaves mineros

Los relaves mineros en el cerro Tamboraque, se encuentra en el kilómetro 90 de la Carretera Central del Perú, que está muy cerca de la vía y de la cabecera de cuenca

del río Rímac, amenazando contaminar el agua que va a la ciudad de Lima con más de 9 millones de habitantes., estos relaves, que contienen altas concentraciones de químicos y metales pesados que corresponden a la operación minera de la empresa Nyrstar que extrae oro, plata, zinc, cobre y plomo (El Comercio, 2014), así mismo se remonta que los suelos que han sido contaminados con escoria de relave minero notado el salar de la India, esto con el tiempo que pasado ha comenzado a obtener un color verde en esta área, propiedad de Codelco Norte ha sido utilizado como lugar para depositar desechos de minería en estos últimos cincuenta años, que es una sitio totalmente árida que lo destaca Claudia Ortiz, bioquímica vegetal de la Usach encargado del proyecto Fondef (Garcia, 2011).

Suelos con escombros mineros

Los suelos estudiados de la localidad minera denominado Baccu Locci, al sureste de Cerdeña -Italia, a lo largo de todo el arroyo de dicha zona, su principal actividad que se ha ocupado fue la extracción de galena (PbS) y arsenopirita (FeAsS) durante muchísimo tiempo casi como un siglo hasta 1965, entonces durante este periodo de tiempo la extracción se derramaban arsénico y metales que salían desde la planta de flotación y de las escombreras directamente al arroyo, consecuentemente contaminando potencialmente a dichas zonas, así mismo en algunos lugares o puntos se encontraron más de 50,00 mg/kg de arsénico total, que es excesivamente alta que genera efectos fuertes, requiriendo una evaluación del riesgo ambiental con urgencia en la localidad (SINC, 2017).

1.1.8 Metales pesados en los suelos

Los metales son sustancias sólidas a temperatura del ambiente, con características de brillo, buenos conductores de calor y electricidad (excepto el mercurio); el término de metal pesado es usado comúnmente en materia de contaminación ambiental, y las definiciones se aplica a metales con gravedad específica mayores a 5 g/cm³, y dentro de ello están también los no metales con propiedades químicas muy diferentes cuya gravedad específica no es significativa para la reactividad, toxicidad o ecotoxicidad de un metal, la clasificación más aceptada es basado en la acidez de Lewis, donde los metales pesados se clasifican como elementos de clase A (duros), clase B (suaves) y de frontera enfocados las propiedades químicas de los metales (Volke *et al.*, 2005), de similar forma (Ortiz *et al.*, 2007) define y amplia que los efectos prácticos en los estudios medioambientales son los elementos metálicos o metaloides de mayor o

menor densidad que se presentan muy comúnmente asociados a los diversos problemas de contaminación, aunque algunos de estos metales son esenciales para los organismos pero en pocas cantidades, como el Fe, Mn, Zn, B, Co, As, V, Cu, Ni o Mo, pero que se vuelven nocivos en altas concentraciones, mientras que los elementos como el Cd, Hg o el Pb no desempeñan ninguna función biológica y resultan altamente tóxicos, los que se originan en el substracto litológico como elementos nativos que se encuentran en la estructuras de los silicatos, sulfuros, óxidos, hidróxidos y carbonatos, los que se producen por la disposición de la atmosfera afectando la capa superficial del suelo.

1.1.9 Toxicidad de metales pesados

Los iones de los elementos denominados metales, cuando entran a la célula tienen un efecto fisiológico o tóxico sobre un organismo, así los cationes metálicos divalentes como son: el manganeso, hierro, cobalto, níquel, cobre y zinc que reaccionan con iones con carga positiva dos (Mn^{2+} , Fe^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} y Zn^{2+}) las que estructuralmente son muy similares entre sí y por la semejanza en su estructura, ciertos cationes metálicos divalentes pueden desplazar a otros con funciones fisiológicas importantes en la célula, así los cationes de los metales como calcio, hierro, cobre, sodio, potasio, magnesio, zinc, manganeso y cromo (Ca, Fe, Cu, Na, K, Mg, Zn, Mn y Cr) presentándose como elementos traza juegan un papel importante en las reacciones bioquímicas y en el metabolismo del ser humano, de ahí que ciertos metales funcionan como *venenos metabólicos*, pueden reaccionar y alejarse una serie de sistemas enzimáticos, por otra parte algunos iones de mercurio, cadmio, plata (Hg^{2+} , Cd^{2+} , Ag^+) forman diferentes complejos tóxicos que no son especificados en la célula de seres vivientes produciendo efectos tóxicos en cualquier función biológica, así mismo los elementos como el mercurio, arsénico, estaño, talio y plomo (Hg, As, Sn, Tl y Pb), pueden formar iones órgano-metálicos liposolubles que son capaces de ingresar a las membranas y acumularse en las células, sin embargo los elementos de baja concentración divalentes como el zinc, el níquel y el cobre (Zn^{2+} , Ni^{2+} y Cu^{2+}) no poseen propiedades toxicas, solamente en concentraciones elevadas; como se puede entender que algunos metales no comprometen a los sistemas biológicos, pero en cambio algunos metales y metaloides como el selenio y el arsénico (Se y As) son potencialmente tóxicos que dependen de la concentración, también dependen de la forma química del elemento, que influyen

directamente en su solubilidad, movilidad y toxicidad en el suelo dependiendo de la contaminación del lugar. (Volke *et al.*, 2005).

El plomo y sus efectos

El plomo (Pb) es uno de los metales probablemente los tóxicos más antiguos que el hombre ha conocido y ha hecho uso del mismo, entonces el factor de toxicidad de un metal y en particular con el plomo es la forma química, dosis, duración, vías y frecuencia de exposición capacidad de biotransformación, edad y género de la persona que se expone; así mismo los metales se encuentran en forma aislada o combinados formando minerales que constituyen una parte de la corteza terrestre formando yacimientos minerales, así el plomo es extraído de la corteza terrestre y es utilizado por la humanidad desde muchísimos años atrás como ya se ha expresado y por la actividad antropogénica se eleva la concentración de algunos metales, además se desarrolla la biomagnificación del metal con la actividad humana como es la minería, agricultura, las industrias y otras del que hacer del hombre, sin embargo algunos metales denominados oligoelementos tales como el hierro, cobre, manganeso, cromo, níquel, sodio, potasio y magnesio en concentraciones bajas son parte del organismo, los cuales son parte de las enzimas y coenzimas que intervienen en la reacciones químicas como redox e intercambios electrónicos del proceso de las células que son imprescindibles para la vida del ser humano; por otra parte como se ha dicho el plomo es extraído del subsuelo y los grandes depósitos naturales de este metal se encuentran en Canadá, EEUU, México, Perú, Europa Asia y Australia que tiene mayor uso industrial y doméstico, pero que no es necesario para nuestro organismo y si lo encontramos es que ha ingresado desde el exterior; se sabe el plomo se extrae de los minerales como la galena que es un sulfuro de plomo, la cerusita que es carbonato de plomo, la anglesita que es un sulfato de plomo, dicho metal es de color gris azulado, blando, pesado, resistente a la corrosión, se oscurece rápidamente expuesto al aire y son utilizados en la fabricación de utensilios, algunos plásticos como estabilizante del PVC, fabricación de pinturas y en variados usos industriales (Burger & Pose, 2010); por otro lado, Brutti (2018) indica que la solubilidad del plomo varía sobre la extensión superficial, pero la acidez que se incrementa en el suelo podría aumentar la solubilidad del plomo, además si localiza cerca de la superficie está en relación con la materia orgánica, por eso en las plantas se acumula esencialmente en las raíces y presentándose mínimamente en la estructura reproductiva de los vegetales.

El cobre y sus efectos

El producir una tonelada de cobre, implica procesar un promedio de 497 toneladas de materiales sólidos, de los cuales 147 toneladas de mena y 350 toneladas de escombros que son tierra fértil, bosques, vegetación y el subsuelo que no contiene cobre, pero que necesariamente debe removerse para llegar al yacimiento, estos escombros denominando estériles contienen metales pesados como el arsénico, antimonio y plomo que contaminan el suelo, medio ambiente y presentan un grave riesgo para la salud, es más, en una operación minera a cielo abierto aparte de producir inconcebibles cantidades de desechos sólidos sus instalaciones requieren extensas áreas, así por ejemplo la mina de cobre de La Escondida (Chile) ocupa más de 64 000 hectáreas, así los impactos producidos que están relacionados con la explotación y la concentración del cobre por la fundición del concentrado del metal contamina al aire con ácido sulfúrico que lo acidifica grandes extensiones del suelo que va destruyendo la vegetación y los bosques, a los alrededores de las minas que causan problemas respiratorios a la personas y animales, así por ejemplo tenemos la mina de cobre Southern en nuestro país que causó y aun causa problemas respiratorios en la población de Ilo pese a que la planta de fundición está a varios kilómetros de la ciudad (Zorrilla, 2013), por lo que el Ministerio de Salud de Chile, solicita a la organización Mundial de la Salud (OMS) que se revisara los efectos producidos por el cobre, y en base a los nuevos enfoques y estudios realizados recientemente en Chile y en otros países; entonces de allí, el informe despejó una serie de interrogantes sobre el cobre como micronutriente esencial y de la evaluación de riesgo del cobre, existen riesgos por deficiencias asociados a bajas ingestas y riesgos por toxicidad asociados a altas ingestas; por exceso de cobre que deriven en posibles efectos crónicos, y en cuanto a la toxicidad por exceso de cobre se determinó que era poco frecuente en poblaciones normales, esta podía darse por deficiencias en el metabolismo del cobre o por ingestas excesivas, por otra parte la probabilidad de que el cobre pueda estar contenido en el agua y éstas sean consumidos por las personas, por lo general que contenga pequeñas cantidades del metal pudieran poseer efectos tóxicos para el ser humano, entonces el organismo tiene fuentes mecanismos de homeostasis que ajustan la absorción del cobre en un rango grande de ingestas, por eso esto explica que la toxicidad de la indigestión de los alimentos ricas en cobre son raras y se presenta con mayor frecuencia la toxicidad cuando de ingiere comidas como sales de cobre disueltas en agua, además el metal en solución posee un sabor

metálico fuerte y desagradable, es mas en la mayoría de los casos que se presentan el cobre provoca náuseas, vómitos, diarrea, dolor abdominal, entonces la ingesta aguda de cobre se produce en el estómago ya que los iones de cobre estimulan e inducen al vomito, esto son los efectos que produce el cobre (Torres, 2005), así mismo, Brutti (2018) refiere que los iones de cobre (Cu) se encuentran en una alta afinidad para formar complejos con la materia orgánica del suelo, donde el mayor rango de la biodisponibilidad del cobre esta desde 4,5 a 7 de pH, cuya movilidad dependerá del horizonte del cobre en el sustrato, pero se sabe que posee escasa movilidad en las plantas encontrándose mayor concentración en los tejidos de las raíces, hojas, pero menos en los granos de la planta.

1.1.10 Tecnologías de remediación de suelos

Entre las tecnologías de remediación de suelos se pueden reunir de acuerdo a las características de la actividad antropogénica de operación o el propósito con que realiza, en tal razón se tiene los siguientes criterios de clasificación: - finalidad de remediación. - el sitio a aplicase la remediación. - el tipo de tratamiento; además se pueden clasificar según el nivel del desarrollo técnico, por eso en función de las finalidades u objetivos de la remediación se puede diferenciar las *técnicas de contención* que son los que aíslan el contaminante en el medio sin ninguna actividad sobre el contaminante, las *técnicas de confinamiento* que se proceden con la alteración de las condiciones fisicoquímicas del medio disminuyendo la movilidad del contaminante, y las *técnicas de descontaminación* que se enfocan en la reducción o la desaparición de la concentración de los contaminantes que se encuentran en el medio; además es preciso expresar que según la localidad donde se aplica el proceso de la remediación, se tiene los tratamientos *in situ* cuando los trabajos de remediación se ejecutan en forma directa en el lugar contaminado, y el otro es el tratamientos *ex situ*, cuando se necesita extraer el medio contaminado para hacer después su tratamiento que puede ser en el mismo lugar (*On Site*) o en instalaciones externas (*Off Site*); esta clase de tecnologías de remediación se expresa en la figura 1 (Fundación Chile, 2019).

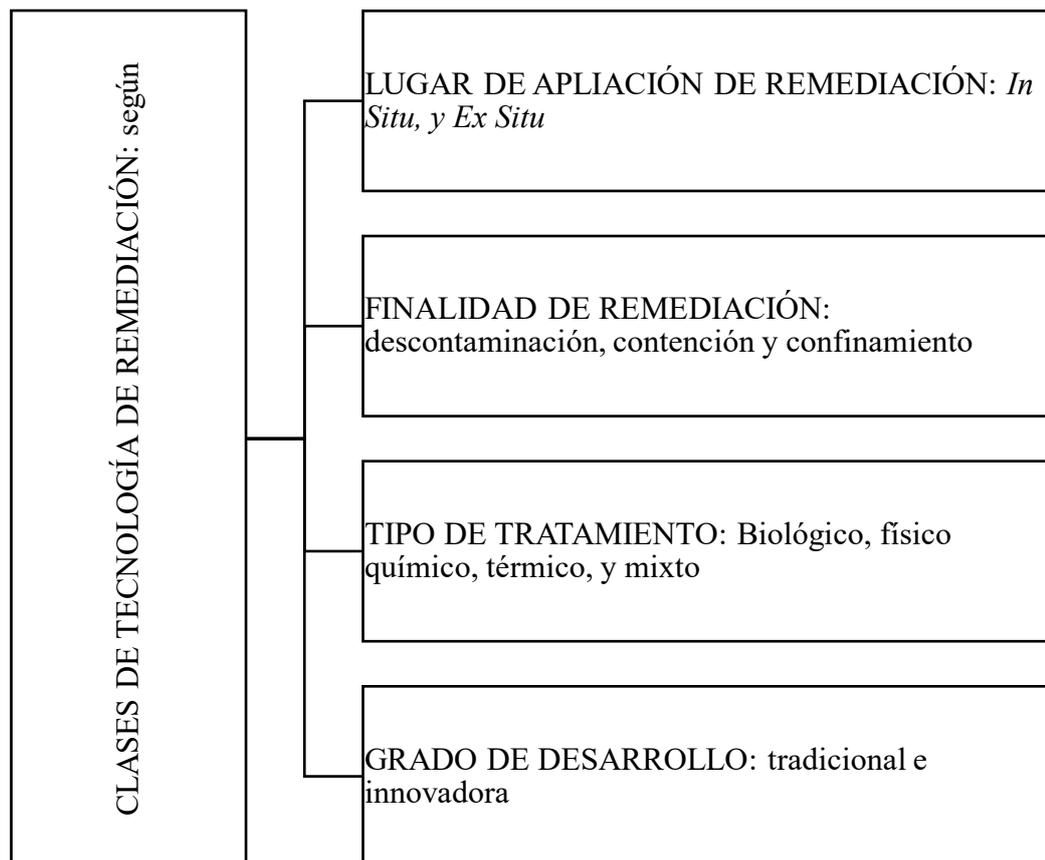


Figura 1: clasificación de tecnología de remediación de suelos.

Fuente: Fundación de Chile (2019)

1.1.11 Tecnologías biológicas de remediación de suelos

Las tecnologías biológicas están basadas en la biorrecuperación de suelos que son aquellos tratamientos de recuperación que degradan contaminantes orgánicos o disminuyen la toxicidad de otros contaminantes inorgánicos como metales tóxicos a través de la actividad biológica natural, como son los microorganismos así por ejemplo las bacterias, hongos, plantas que a través de sus procesos metabólicos pueden decodificar las sustancias de riesgo para el hombre y el medio ambiente, teniendo en cuenta la presencia de nutrientes y oxígeno como también factores ambientales como el tipo de suelo, la temperatura y el pH, así mismo en la actualidad, se tiene gran interés por conocer los métodos de recuperación biológicas ya que son tecnologías más sencillas, más económicas y respetuosas con el medio ambiente en comparación con otros tratamientos ya que los contaminantes son elementalmente extraídos y son transportados a otros lugares para su recuperación, sin embargo

también es necesario indicar que la eficacia de los tratamientos de biorrecuperación está todavía por comprobarse su éxito, pero las diferentes estrategias de biorrecuperación funcionan en determinado lugar y no tienen por qué funcionar en otro lugar y los procesos de biorrecuperación que se realizan a nivel experimental en el laboratorio es posible que no tengan el mismo éxito llevados a cabo los estudios en el campo, entonces en cualesquiera de los casos, el factor que limita la biorrecuperación no es conocido todavía en su plenitud los mecanismos del crecimiento y la actividad que realizan los microorganismos en aquellos ambientes contaminados como es el caso de los suelos por lo que sí se puede lograr en el futuro (Ortiz *et al.*, 2007), por otra parte, Boullosa (2010) referencia que por más que nos empeñemos, los animales siguen intrigándose para defender la vida aunque es en pequeña escala y mantener en condiciones adecuadas, así desde el principio de *faircompanies* interesados de evidenciar empíricamente lo que habla de la hipotética conjura o defensa de los animales de salvar algunas de las condiciones de la biosfera que son indispensables para la vida, de tal modo que los seres vivos complejos o unicelulares eligen la no espera a que otras especies dominantes lleguen a acuerdos mínimos de evitar la desaparición de los ecosistemas, así por ejemplo distintas especies como los murciélagos, pájaros, lagartijas, las ballenas y otros animales aportan en la mitigación de los peores efectos de los cambios climáticos, así lo mismo los científicos del sur han estudiado la glotonería de la lombriz de la tierra con los metales pesados que proceden de los materiales contaminantes en el suelo y estos lo limpian como los lugares industriales y vertederos (Bullosa, 2010).

1.1.12 Biorremediación de suelos que contiene metales pesados

Las diferentes fuentes de contaminación del suelo, es preciso resaltar lo producido por los metales pesados resultado de la actividad antropogénica, su estudio y la solución radica principalmente en la exposición silenciosa que está sometida la población y el medio ambiente, y la remediación es un conjunto de actividades tendientes a reducir la presencia de materiales o residuos peligrosos en suelos o lugares contaminados a través del manejo de fitorremediación y otras tecnologías similares, así por ejemplo las plantas o vegetales han expandido mecanismos considerablemente específicos para absorber, traslocar y acumular nutrientes, pero algunos metales y metaloides no esenciales por los vegetales son absorbidos,

traslocados y acumulados dentro de planta ya que exponen comportamiento electroquímico parecido a los elementos nutritivos requeridos. (Brutti, 2018).

1.1.13 El vermicompost (latín *vermis* = gusano)

El vermicompost es el resultado de descomposición de la materia orgánica que lo realiza las lombrices rojas de California del género *Esenia* con una actividad propia de esta especie y de las lombrices de tierra, que mediante su tubo digestivo transforman la materia orgánica, siendo este compost uno de los mejores nutrientes y bien estructurados que han sido intervenidos por las lombrices, por eso los humos en los suelos son sustancias que nutren en beneficio del crecimiento y desarrollo de las plantas en razón a que favorece en absorción de los nutrientes y la retención del agua, facilitando la circulación del aire, limitando los cambios bruscos de la temperatura que se presentan, así mismo bloquea bastantes compuestos tóxicos, que al final provee alimentos a los animales gracias al trabajo de las lombrices en el terreno, entonces el proceso de este vermicompost es que las lombrices proceden a alimentarse en forma voraz de los residuos o restos orgánicos y al moverse dentro de la tierra dejan pequeñas galerías, dejando espacios que son la porosidad del material al ejecutar este proceso del vermicompost, y así se va aireando este lugar de manera automática entonces este proceso es lo que conoce como una *vía directa*, mientras que la *vía indirecta* es que los lombrices excretan el 60 % de lo que comen la tierra, con el cual estimulan la microflora del suelo y a su vez es óptimamente para el micro hábitat de muchos microorganismos que descomponen el suelo, experimentalmente el proceso de la obtención del vermicompost mediante un digestor o vermicompost-ador, se muestra en la figura 2 (Amigos de la tierra- Agenda 21, 2019); (Amigos de la tierra LGNS, s/f); así mismo también (Serrano & Borri, 2007) define que el vermicompost es el producto o resultado del proceso de la digestión de restos orgánicos con que se alimentan las lombrices que generan el compost con la ayuda de otros microorganismos, este compostaje es un material homogéneo, orgánico y oscuro, es abono magnifico para las plantas; este proceso es posible gracias a las lombrices, que son muy voraces y se han adaptado muy bien al consumo de una diversidad de restos orgánicos, ingieren y procesan mediante su sistema digestivo, luego los excretan, y así los convierten en un producto afamado como humus de lombriz, que son alta calidad como fertilizante, son limpios porque las lombrices aceleran la mineralización de la materia orgánica, luego se desplazan

por el con esa tierra con desecho orgánicos, lo airean y mantienen en condiciones aerobias, entonces se conoce que el vermicompost-ador de 53 litros de capacidad con

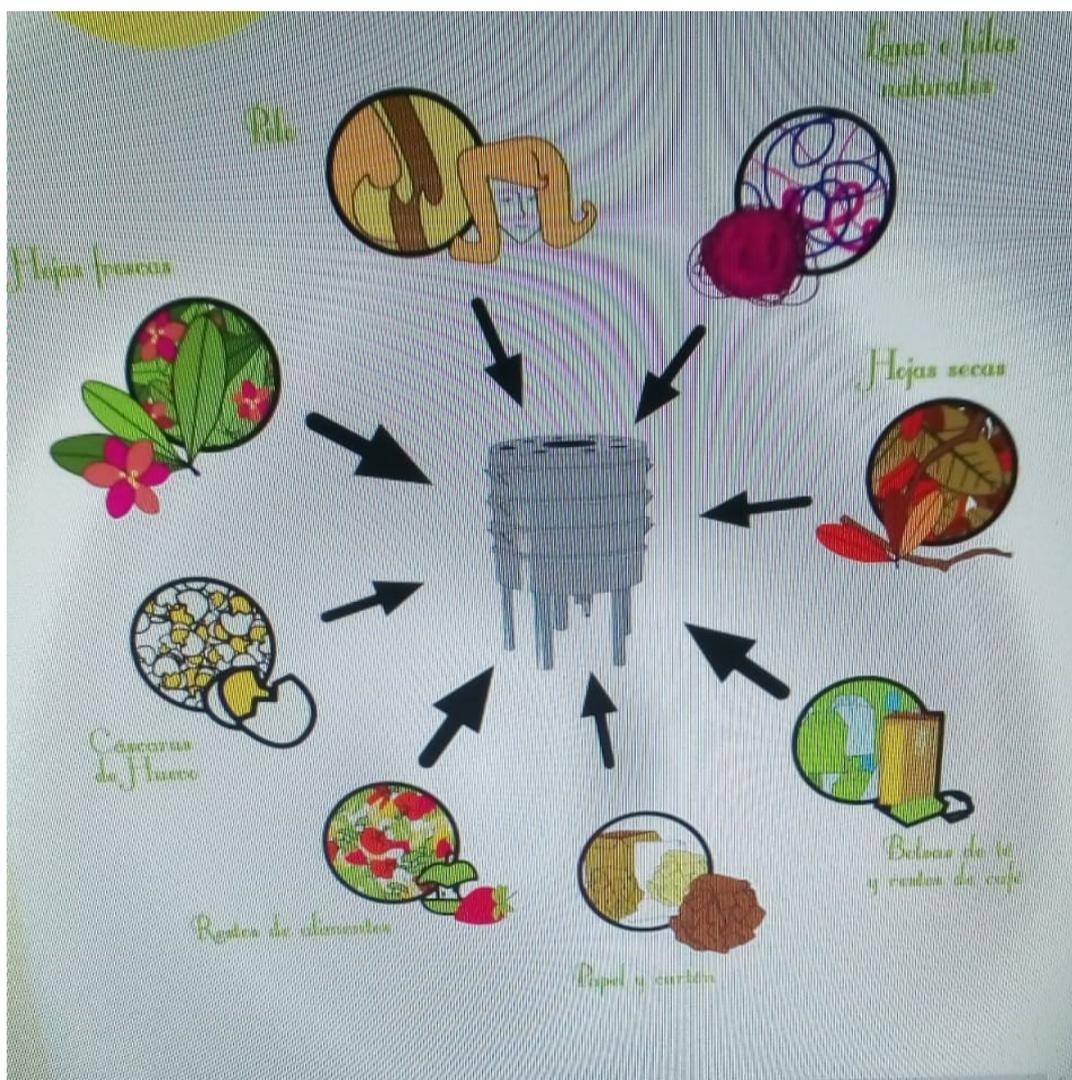


Figura 2: proceso de vermicompost en un vermicompost-ador.

Fuente: Ayuntamiento de Agenda 21- San Sebastián de los Reyes (2019)

una población suficiente de lombrices admite procesar unos cuatro litros de residuos orgánicos a la semana, del cual se puede obtener unos veinte kilos de fertilizante anuales; por lo que en la caja o digestor o vermicompost-ador pueden estar acumulándose restos de cocina como cáscaras de las frutas, verduras, pequeñas porciones sobrantes del plato, y desechos orgánicos; por otra parte (Melgar, 2012) indica que el vermicompost es el producto del proceso de descomposición de la materia orgánica realizado por las lombrices de tierra, que al alimentarse y en combinación con otros microorganismos procesa y los convierte los residuos de los

vegetales en un producto firme con muy buena calidad del suelo y bastante fertilizado, para obtener este producto se requiere tener condiciones e infraestructura adecuada para realizar el proceso de vermicompost como son: terreno bien acondicionado que sea de fácil acceso y que tenga buen drenaje y el material que tenga de 5 a 10 centímetros de tamaño, termómetro digital o análogo, riego, y lombrices; además (Mikolic *et al.*, 2018) indica que se conoce como un abono orgánico estabilizado, rico en nutrientes, sin embargo, de baja densidad aparente es aplicable a suelos para el mejoramiento de sus características físicas, químicas y biológicas, mejores rendimientos, seguridad en la sanidad de los cultivos que no causan ningún riesgo al medio ambiente; obteniéndose el producto mediante el proceso de vermicompost en condiciones aeróbicas, que consiste en el reciclaje de los diversos restos de materia orgánica y aquí con la colaboración de los diversos microorganismos y lombrices que se alimentan de estos residuos orgánicos, luego inmediatamente los transforman a través de su proceso digestivo excretándolo, y esto después será el humus de lombriz, y así estas contienen macro y micro nutrientes según la materia orgánica con la que se encuentran; entre los principales macro nutrientes que tienen son el nitrógeno, fósforo y potasio que son muy importantes para tener un suelo fértil; por otra parte (Naturland, 2018) anuncia que el vermicompost es un fertilizante natural de una calidad bastante alta y conocido como uno de los mejores nutrientes del suelo, este terreno brinda buen crecimiento y rendimiento de los diferentes cultivos, ya que proporciona fertilidad y nutrientes al suelo, este es un proceso complejo que se realiza en el tracto gastrointestinal de las lombrices que mejoran con los siguientes elementos: nitrógeno, fósforo, potasio, zinc, cobre y manganeso, su contenido de dichos elementos se muestra en la tabla 2. Es beneficioso el vermicompost o el humus de lombriz, que en realidad brinda beneficios para el desarrollo de plantas, con él, aporta nutrientes esenciales y materia orgánica, el suelo mejora en su estructura que facilita el desarrollo radicular de las plantas, mejoramiento de la infiltración y la retención del agua en el suelo, disminuye el riesgo a la compactación y la erosión del terreno, es como un almacén de nutrientes que poco a poco van dejando libre para la alimentación de las plantas, es promotor del crecimiento y abundancia de los microorganismos incrementando la absorción de los nutrientes producto de los humus de lombriz en el suelo evitando ciertas enfermedades de las plantas (Vermican, 2019).

Tabla 2

Composición de nutrientes del vermicompost y compost

Nutrientes	vermicompost	compost
Nitrógeno (N)	1,9 %	1,4 %
Carbono/Nitrógeno (C/N)	13,6 %	20,6 %
Fosforo (P)	2,0 %	1,8 %
Potasio (K)	0,8 %	0,7 %
Zinc (Zn)	100 ppm	80 ppm
Cobre (Cu)	48 ppm	40 ppm
Manganeso (Mn)	500 ppm	260 ppm

Fuente: Practical on vermicompost (Shahi) Naturland, 2018)

1.1.14 Tecnología del vermicompost

Esta tecnología consiste en construir una vermicompostera donde se debe tener en cuenta el mantener las condiciones de aireación, drenaje, temperatura, humedad y ausencia de luz, luego en forma general los productos obtenidos mediante los procesos de compostaje y vermicompostaje presentan características peculiares como: excelentes fertilizantes orgánicos, sustrato para germinación de semillas, suelo para soporte microbianos, biorregeneradores y biorrecuperadores de suelos degradados y contaminados respectivamente (Melgar, 2012); así mismo (Vargas *et al.*, 2014) anuncia que es conocido también como un proceso biotecnológico de bajo costo que nos permite la biodegradación y la estabilización de los diferentes residuos orgánicos en condiciones mesófilas y aerobias por la actividad de especies de lombrices de tierra que se alimentan de residuos, las que descomponen por la acción de sus enzimas digestivas en el interior de su intestino.

Lombriz roja en vermicompostaje

Las lombrices que generan el vermicompostaje son invertebrados ideales, silenciosos, tranquilos y limpios y además nos ayudan a transformar los residuos urbanos domésticos; es uno de los pocos animales que podemos tener en un entorno urbano que viven felices y fáciles de cuidar; entonces el compost que es el resultado del proceso de descomposición de la materia orgánica y útil para el mejoramiento de la fertilidad de la tierra en los campos de cultivo, pero una materia orgánica que con la mezcla de residuos orgánicos denominados impropios no facilita su reutilización para hacer compost, pero si se recoge seleccionando la materia orgánica, es muy raro

recibir los beneficios de que sea en forma correcta la separación de la fracción, así seguir el proceso y cerrar el ciclo, finalmente es el aprovechamiento del compost para conseguir la fertilidad de la tierra y la producción vegetal, tal como se puede observar la figura 3 (Serrano & Borri, 2007); a su vez son un símbolo de fertilidad del suelo, en algunas culturas son considerados como animales sagrados porque realizan labores impagables para fertilizar la tierra moviéndose por el subsuelo realizando excavaciones de pequeñas galerías que airean el suelo dejando una textura esponjosa, alimentándose de partículas orgánicas que existen en el sustrato, luego los digieren y en seguida las expulsan como desechos ricos en nutrientes del suelo, por lo que las lombrices son animales sumamente beneficiosos para fertilidad de la tierra, por tal motivo se utilizan estos animales en el proceso del compostaje a fin de madurar el compost y así producir los humos de lombriz llamado también vermicompost que, generalmente a estos animales se les ha llamado lombriz californiano siendo estos de suelos de regiones templadas y son muy adaptables a las diversos medios y alta reproducción y sin ningún riesgo de liberación en el suelo (Vermican, 2019).



Figura 3: lombrices de tierra en vermicompost.

Fuente: Serrano, V., & Borri, T. (2007)

Lombriz de tierra común en la biorremediación de suelos

Las lombrices de tierra común son capaces de eliminar los metales pesados y otras sustancias tóxicas que se encuentran en el suelo y los entornos líquidos, esto según los científicos sudamericanos que han emprendido el estudio han publicado en

el *International Journal of Global Environmental Issues*, en donde indican que las lombrices han evolucionado y hasta que se han especializado en el procesamiento de cantidades considerables de materia orgánica en los diferentes tipos de suelos, así mismo algunas especies de lombriz de tierra común, son usadas en las actividades del compostaje urbano, los que convierten restos de plantas y comida en abono orgánico que procesan diariamente la materia orgánica aun equivalente a su peso de la materia, así por ejemplo las lombrices de tierra han hecho desaparecer el arsénico que contenía el suelo con una eficiencia entre 42 % y 72 % y entre 7,5 % y 30 % de mercurio en tan solamente en dos semanas según Lué Merú Marcó Parara de la universidad venezolana, además comprobaron que el compostaje que han generado las lombrices sirven para limpiar las aguas residuales contaminadas con metales pesados como el plomo, el cromo y el níquel (Boullosa, 2010); así mismo, (Masín, 2018) especialista en taxonomía y ecología de lombrices de tierra, realiza investigación en vermicremediación, en este caso utilizando lombrices para la mejoría de la calidad de los sustratos contaminados en la ciudad de Santa Fe, que han estado abocados al estudio del reciclaje de residuos agropecuarios mediante la biotecnología y la obtención de los biofertilizantes que han sido aplicados a los cultivos de horticultura; la lombriz dependiendo de su especie puede vivir muchos años que puede atribuirse hasta diez años, con esto la esperanza de vida es considerable si es que la especie se cría en las condiciones de laboratorio o en el campo siendo aquí su vida algo más de lo expresado, refiriéndose a las especies que se ha estudiado y criado en laboratorio, y son las más utilizadas en vermicompostaje y otras con potencialidad para tal fin estimándose la esperanza de su vida que sería de cuatro a cinco años.

1.1.15 Minimización de toxicidad de residuos sólidos y metales pesados con lombrices

Los anélidos, en especial las lombrices tienen la capacidad de acelerar el proceso de descomposición, desintoxicación de los suelos que contengan residuos sólidos, pesticidas o metales pesados los que proceden de desechos de diferentes industrias como la actividad minera, agrícolas, u otras industrias, las que ocurren por el almacenamiento de estas sustancias que son tóxicas y van al tejido de las lombrices, así mismo las enzimas de los anélidos como las lombrices y microorganismos pueden descomponer las sustancias tóxicas en el humos, ya que estos organismos tienen alta resistencia a la toxicidad que por su puesto el nivel de toxicidad no deberá ser muy

alto, entonces dichos contaminantes que han sido absorbidos por las lombrices no tengan que volver al suelo y entonces se deberá quitar las lombrices del sistema porque las lombrices que son contaminados se mueren, éstas contaminaran nuevamente el suelo que estuvo con nutrientes y los metales pesados se acumularán en la cadena alimenticia de los animales del suelo, siendo este proceso bastante complejo que se realiza en tubo gastrointestinal de las lombrices (Naturland, 2018).

1.2 Antecedentes

Los pasivos ambientales son causantes de la contaminación del suelo, agua, y aire, que son causadas por los relaves o residuos efluentes de la actividad minera y metalúrgica, afectan la fauna, la flora y a los seres humanos con riesgos a su salud; el estudio de riesgo ambiental por el pasivo de los relaves de la ex planta de tratamiento metalúrgica de Yauris, Huancayo, se han estudiado veinte y un clones que están en los relaves y sus concentraciones de Pb, Cd y Cr presentes en el suelo y el agua sobrepasan los estándares de calidad ambiental, tóxicas y peligrosas en un volumen de quinientas toneladas, donde el riesgo ambiental promedio estimado es alto (78,0 %) y el nivel de riesgo estimado para la salud de la población es moderado (Orellana & Gómez, 2015), eso claramente (Ojeda *et al.*, 2019) versa que las lombrices de tierra son uno de los indicadores de la salud de los ecosistemas, por eso se ha propuesto utilizar la lombriz roja *Eisenia foetida* como intermediario que debe absorber los metales pesados y así tener una solución del remediador de suelos contaminados por jales de mina, en el que se han realizado tratamiento agregándose 40 lombrices a fin de que tengan ganancia en su peso y acumulación de metales pesados; siendo los tratamientos T0, T1, T2, T3 en la que obtuvieron los más altos en hierro (Fe), plomo (Pb) y zinc (Zn) que los estándares internacionales, entonces las lombrices de dicha especie desarrollan resistencia a los múltiples metales contenidos en los suelos y por tanto son útiles para la biorremediación de suelos que contengan materia orgánica y humedad suficiente para su sobrevivencia; entonces por otra parte (Lugo *et al.*, 2017) indica que es necesario, probar mezclas de lodo residual y estiércol de equino en diferentes porcentajes, y por vermicompost conocer su estabilidad y proponer como medio de mejora del suelo, en donde la mejor relación que tiene es E₇₀-LR₃₀ por un balance en el aporte de nitrógeno (N) y Carbono (C), donde la concentración de metales pesados se redujo para cobre (Cu), zinc (Zn), níquel (Ni) y cadmio (Cd), el pH fue neutro (7,24 ± 0,1), el fósforo (P) aumentó

bastante y la cantidad de lombrices fue mayor respecto a los otros tratamientos, entonces la relación es apropiada para el uso de abono orgánico; así mismo (Covarrubias *et al.*, 2015) precisa que la contaminación por metales pesados como el plomo (Pb), el arsénico (As) y el mercurio (Hg) afectan la salud humana, y su toxicidad en los suelos está asociada con la asimilación por los seres vivos, que determinan las características fisicoquímicas del suelo como son por ejemplo pH, potencial redox y materia orgánica, y para lo cual las técnicas de remediación del terreno se basan en métodos fisicoquímicos, y biológicos denominados *biorremediación*, en donde el proceso está dado en el aprovechamiento del potencial metabólico de organismos vivos como son hongos y bacterias, siendo los procesos más utilizados como es la lixiviación, la sorción, la precipitación, y la volatilización de metales pesados contaminantes; por otro lado (Rimarachin & Huaranga, 2015) afirma que, los relaves mineros son pilas de contaminación con metales pesados que trascienden en el sistema ecológico y en la salud del ser humano, por eso se utilizó el método pasivo utilizándose el compost y humus, con el que encontramos remoción de cobre (Cu), arsénico (As), cadmio (Cd) y mercurio (Hg) que ha dado resultados superiores a 97 %, el zinc (Zn) para el humus de 85,67 % y el plomo Pb para compost de 95,66 % y con el método del activo membrana semipermeable artesanal el plomo (Pb), arsénico (As) y zinc (Zn) ha sido estancados en rasantes superiores al 99 % y otros como el mercurio (Hg) y cadmio (Cd) han sido estancados totalmente; y la menor capacidad de detención ha sido el cobre (Cu) con 98,83 % para humus y 99,55 % para el compost.

Al norte de Chile los suelos cercanos a los relaves de Cu, el metal pesado en mayores concentraciones ha sido el Cu en relación al resto de elementos determinados mediante AAS, y los totales fue utilizando ICP-OES, en el gráfico de dispersión se observó un grupo de suelos está cerca al eje de intercepción, esto en los dos primeros componentes y cuatro suelos distanciados mostraron mayores contenidos de hierro (Fe) = 276,6 mg kg⁻¹, cobre (Cu) = 375,1 mg kg⁻¹, manganeso (Mn) = 56,7 mg kg⁻¹, zinc (Zn) = 21,7 mg kg⁻¹, cromo (Cr) = 45,0 mg kg⁻¹ y plomo (Pb) = 129,3 mg kg⁻¹ (Montenegro *et al.*, 2009); sin embargo hay varias formas de recuperar las áreas de desechos mineros, la mayoría de estos sitios son tecnologías de alto costo; mientras que las técnicas de fitoestabilización son más económicos con menor impacto ambiental, e impacto positivo y *A saligna* es la mejor especie para fitoestabilización

en la Región de Coquimbo, y una combinación de diferentes especies como son los acumuladores de cobre (Cu), que parece ser una alternativa adecuada (Pizarro *et al.*, 2016); así mismo (Sarria *et al.*, 2015) afirma que los suelos aquejados por el accidente, la mina de Aznalcóllar en 1998 fueron corregidos para reducir la contaminación por los contenidos de arsénico (As), cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn), se realizó el muestreo y luego se determinaron las propiedades físico-químicas y bioensayos con la bacteria *Vibrio fischeri* y *Lactuca sativa* (lechuga), entonces las concentraciones de cobre (Cu) y zinc (Zn) han sido superiores a valores máximos deseables en la solución del suelo; además los dos metales originaron toxicidad en *Vibrio fischeri*, entre 40 y 50 cm de profundidad, asociada con pH ácido; por otra parte (Alcalá *et al.*, 2012) concluye que las prácticas de la utilización del suelo minero y residencial urbano, inciden en la presencia de cobre (Cu), zinc (Zn), plomo (Pb) y cadmio (Cd) al interior del corredor ecológico de Soledad de Graciano Sánchez-San Luis Potosí, con el zinc (Zn) se contribuyó su presencia en los lugares que han sido evaluados que resultó en la concentración y solubilidad; el mayor número de metales pesados es en el suelo minero y son menores en la actividad agropecuaria, marcado como alto rango por el EPA y por otras.

El suelo de Rasgatá Bajo está peligrando al mismo tiempo a los resultados colaterales de extracción y transformación del carbón, los cuales contaminan el suelo con metales como el cadmio (Cd), manganeso (Mn), plomo (Pb) y zinc (Zn), se observa la deforestación, y deterioro estético del terreno se hace cada vez más riesgosos, así mismo los procesos de transformación de arcilla y carbón aumentan el riesgo de contaminación del suelo por la acumulación de cenizas y escoria (Guerrero *et al.*, 2016); por otra parte se analiza las escombreras y pantanos mineros en la Sierra minera de Cartagena-La Unión, son superficies de riesgo para la salud de los pobladores del sitio, sus alrededores y las poblaciones turísticas; se indica que se presenta altas concentraciones de metales pesados y pueda incurrir algún tipo de cáncer, como el de pulmón y pleura (Belmonte *et al.*, 2010); así mismo el compost es el producto de acción microbiana, entonces en este trabajo se evaluó el compost con contenido de metales pesados que no causa ningún efecto contrario sobre el crecimiento de *A. brasilense* y *G. intraradices*, ni han sobrepasado los límites máximos permisibles por las normas internacionales como NTC5167 y la 503 de EPA (Rojas *et al.*, 2016); entonces, la evaluación de la concentración de metales

pesados ha sido con el uso de la técnica ICP y muestras con bajas concentraciones, y por absorción atómica, obteniendo los resultados con el análisis estadístico de regresión muestran mayor concentración en lugares cercanos a los jales, reduciéndose a medida que se alejan, pero que sobrepasan los rangos establecidos por las agencias internacionales, así el plomo (Pb) con la longitud a la fuente y textura, el zinc (Zn) y (Cd) con longitud a la fuente, el pH y la profundidad del suelo (Puga *et al.*, 2006); así por ejemplo en suelos urbanos, la validación matemática con 3 índices: así el índice Lehmann consideró % de arcillas, estructura y pedregosidad; índice Lehmann modificado utilizó intercambio catiónico, materia orgánica, pedregosidad y pH; y densidad aparente, el índice Bautista-Campuzano consideró más importante el pH, materia orgánica, arcillas, pedregosidad y densidad aparente; entonces los 3 índices presentan semejanza entre las propiedades del suelo y clases de sorción de metales pesados con mayor a 0,7 de coeficiente Kappa, por lo que el índice Bautista-Campuzano se considera más eficiente para la información y toma de decisiones relacionada con la mejora de suelos urbanas para incrementar la sorción de los metales pesados (Bautista *et al.*, 2017).

En Sierra Mágina, Jaén de España se estudió suelos dedicados al cultivo del olivar con concentración de Cr, Ni, Cu, Pb, Zn y As a profundidades entre 0 a 20 cm y 20 a 40 cm, allí solo el cobre (Cu) varía con la profundidad, observándose un promedio más alto de 0 y 20 cm debido a los controles fitosanitarios en sus cultivos, y en suelos con texturas arcillosas y limosas se observan concentraciones más elevadas de cromo (Cr) y níquel (Ni), y en otros metales y el arsénico (As) no hay variaciones de importancia (Menjivar *et al.*, 2009); así en suelos agrícolas, el uso no controlado de agroquímicos conducen a elevado riesgo y vulnerabilidad de estos sitios, por eso se calculan los contenidos de cobre (Cu), níquel (Ni), cadmio (Cd) y plomo (Pb) en el cultivo de papa en condiciones de producción y de cobre (Cu), zinc (Zn) y plomo (Pb) en arroz, esto en condiciones medianamente controladas, y la evaluación agroecológica en el área del cultivo de papa en la comunidad de Güines, donde se detectaron que poseen elevados niveles de metales pesados en sus órganos y suelos post cosecha sin síntomas visibles de fitotoxicidad, sin embargo se consideran como cantidades preocupantes, por eso se implementaron medidas fitotécnicas, recuperativas, ambientales y capacitación a fin de disminuir riesgos (Delince *et al.*, 2015); por otra parte y así por decir, los plaguicidas y fertilizantes son potenciales

generadores de metales pesados por lo que el estudio fue el determinar las concentraciones de metales pesados como el cobre (Cu), zinc (Zn), níquel (Ni), plomo (Pb), cadmio (Cd), cromo (Cr) en suelos tipo Oxisol, que son utilizados como sitios agrícolas intensivos por un periodo más de diez años en Ariari en la que se ha obtenido la secuencia de zinc mayor que cobre mayor que plomo mayor que cromo mayor que níquel y ninguno supera los límites máximos permisibles planteados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos EPA (Mahecha *et al.*, 2015); también (Regalado *et al.*, 2014) afirma, que la planta conocido como Vanderhyst puede acumular concentraciones significativas de metales pesados, los cuales tienden a ser trasladados desde las raíces hacia partes aéreas, en donde se observan cambios significativos en los tejidos parenquimáticos y conductores de los órganos vegetativos y no muestran signos de toxicidad; a si por ejemplo (Bernal & Boshell, 2014) indica que los conocimientos fisiológicos y compuestos tóxicos, conduce a seleccionar especies de vegetales que tengan tolerancia a degradantes específicos, a esto se adiciona modificaciones genéticas que puedan incrementar la biomasa vegetal, morfología, entrar a profundidad, que hacen los microorganismos y las raíces de las plantas.

El contenido de los metales pesados se manifiestan en aguas, suelos y cultivos de la cuenca alta, media y baja del río Moche de Trujillo-Perú, es que en los cuatro sectores de sus márgenes con suelos y cultivos, la mayor degradación es en el agua, se presentó en la cuenca alta en el año de 1980, y en el margen derecha de la cuenca media presentó más degradación en los suelos y cultivos de yuca (Huaranga *et al.*, 2012); así mismo se ha estudiado el suelo de la mina antigua de manganeso Cristo-Barrancas y áreas circundantes y se ha evaluado el contenido de metales pesados como cadmio (Cd), níquel (Ni), plomo (Pb), cobalto (Co), zinc (Zn), cobre (Cu) y cromo (Cr), que ahora algunos suelos se utilizan para cultivos de plantas para consumo humano y animales, y se han obtenido resultados de degradación moderada por cadmio (Cd), cobalto (Co) y cobre (Cu); y los resultados de la evaluación de los índices y estándares holandeses muestran que no existe contaminación por plomo (Pb), cromo (Cr) y zinc (Zn), solo moderada por cadmio (Cd), que puede anular los suelos para el cultivo de hortalizas porque al ser ingeridos pueden ocasionar daños a la salud (Garrido & Siboney, 2011); entonces (Pineda & Gómez, 2016) afirma que los metales pesados son degradantes de mayor toxicidad en el ambiente por sus



efectos nocivos como el cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg) son importantes por su persistencia y toxicidad, por eso las tecnologías que involucren los seres vivos con capacidades metabólicas especiales han dado resultados muy buenos de biotransformación, donde ciertos microorganismos y plantas tienen diferentes mecanismos bioquímicos para neutralizar la toxicidad de los metales pesados; así mismo (Bernal, 2014) indica que el canal de riego se alimenta con aguas del Río Bogotá, y se colectaron suelos *in-situ* y se estudió en forma *in-vitro* en el *Instituto Geográfico Agustín Codazzi*; el análisis factorial con 2 factores y diseño de bloques completos aleatorizados que permitió analizar la interacción de 2 variables: pH y (Pb)-incubado, y que la alfalfa acumula un 62% de Pb en el suelo a pH de 5,5; 32 % y tiene la capacidad gradual de acumulación de plomo a pH de 5,5, en las hojas que en los tallos y raíces.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Identificación del problema

En el contexto global, los pasivos mineros de actividades del pasado generan efectos negativos por la contaminación en los suelos con la actividad de los movimientos de tierras, residuos de extracción de minerales y estériles denominados escombros y relaves mineros producto del tratamiento de minerales, la alteración de aguas superficiales y subterráneas producto de la lixiviación de minerales que van generando drenajes ácidos causando grandes preocupaciones en la salud de los seres humanos y la biodiversidad de las zonas afectadas y a su vez emanan gases que se disipan en la atmosfera.

La contaminación de los suelos a causa de las actividades mineras del pasado en el país, así como en la región de Puno se tienen estos pasivos como por ejemplo en Ananea, La Rinconada con generación de relaves mineros y sólidos en suspensión en las aguas de río Ramis, así mismo el drenaje ácido en la localidad de Vilque ocasionado por la pasivos de la mina Los Rosales, Berenguela y otros que han generado residuos sólidos y líquidos producto de la extracción del mineral valioso para su comercialización, como son los minerales sulfurados los que producen impactos negativos bastante considerables en la superficie terrestre, ya que generan soluciones ácidas que filtran al hacia el interior de la superficie del suelo con contenidos de diferentes metales pesados que originan efectos negativos a la salud de la humanidad en nuestros días, estos metales están contenidos fundamentalmente en los estériles o escombros, relaves mineros producto de la actividad minera, así como el plomo genera graves consecuencias en la salud atacando al cerebro y sistema nervioso de los niños o personas provocando trastornos mentales (OMS, 2018); por otra parte el cobre es otro metal pesado que puede adherirse a materia orgánica, arcilla, agua subterránea y otros, desde luego es esencial para mantener buena salud, sin embargo, altas concentraciones o exposiciones en estos lugares puede provocar daño al hígado, riñones, irritaciones a los ojos, nariz, boca, cefalea, náuseas, mareos, diarrea, hasta puede producir cáncer en las personas (ATSDR), por lo que es un problema ambiental muy serio la presencia de los pasivos mineros con contenidos de metales pesados en la superficie de la tierra.

En el caso específico de la localidad de Silluta Cabanillas, se ha realizado actividades mineras con excavaciones o labores mineras subterráneas en el siglo pasado entre las décadas del 60 a 70, extrayéndose minerales de plomo y plata como minerales de mena y

con otros minerales de ganga como es el cuarzo, malaquita, pirita, y otros, donde se ha tenido buen volumen de movimiento de tierras y siendo una mina artesanal que se ha trabajado sin prevención de los impactos ambientales negativos, lo que hoy en día se encuentra como pasivo minero, los cuales son a causa de la selección de mineral en forma manual sin uso de reactivos, pero con la selección manual del mineral han dejado restos con gran contenido de minerales, entonces los restos de trituración de minerales sulfurados han quedado en el suelo los que han dado lugar a la degradación del suelo con metales pesados con altas concentraciones de plomo, cobre y otros metales tóxicos que son de gran preocupación para la humanidad y la biodiversidad en su conjunto, en particular para los habitantes del sector que realizan actividades agropecuarias sobre algunos de estos pasivos ambientales como las canchas de mineral extraídos de la mina inactiva de Silluta ubicado a pocos kilómetros de la ciudad de Deustua-Cabanillas, es más, estos residuos de mineral de plomo y cobre son lixiviados por las precipitaciones pluviales, así como las labores mineras subterráneas que han sido dejados sin ningún tipo de precaución de seguridad ante los habitantes y animales domésticos que se encuentran desde aquellos tiempos hasta la actualidad, ésta se puede observar en la figuras 4.

Frente a esta problemática existente, se plantea con imperiosa necesidad realizar el estudio de remediación de la concentración del contenido de plomo y cobre que son metales pesados tóxicos en altas concentraciones de mucha preocupación para los seres humanos y la biodiversidad, que pueden acarrear consecuencias serias de impacto ambiental negativo para la salud, entonces es necesario la reducción de la concentración del plomo y cobre en los pasivos ambientales solidos como son las canchas de los escombros o estriles y del suelo de la mencionada localidad, cuya investigación sea aplicando la tecnología del vermicompost que se desarrolle en un experimento a nivel de laboratorio, y creo que es una alternativa de solución de la degradación de los suelos con metales pesados como el plomo y cobre en estos lugares, producto de la trituración de los minerales dejados por la actividad minera del pasado.

2.2 Enunciado del problema

2.2.1 Pregunta general

- ¿Cómo es la aplicación de la tecnología del vermicompost en la reducción de la concentración de plomo y cobre con diferentes tratamientos y tiempos en muestras de suelos con pasivos mineros de la localidad de Silluta Cabanillas – Puno, Perú?

2.2.2 Preguntas específicas

- ¿Cuál es la reducción de la concentración del plomo aplicando la tecnología del vermicompost en celdas con diferentes tratamientos y tiempos?
- ¿Cuál es la reducción de la concentración del cobre aplicando la tecnología del vermicompost en celdas con diferentes tratamientos y tiempos?

2.3 Justificación

En los suelos del sector los residuos o escombros acumulados por la actividad minera del pasado se observan con suma claridad la existencia de minerales de plomo, cobre y otros que están deteriorándose con el intemperismo, lixiviados y erosionados por las aguas de las precipitaciones pluviales y subterráneas lo cual van incrementando la concentración de metales pesados en dichos suelos, las que son de gran preocupación en la salud y la alimentación para los seres vivos del lugar, puesto que son suelos de cultivo y pastos naturales para crianza de animales domésticos, por estas razones se ha realizado el estudio de la concentración del plomo y cobre en dichos suelos y a su vez se ha procedido la experimentación, en donde se ha obtenido resultado con éxito la reducción del contenido de plomo y cobre que son los elementos más preocupantes para la humanidad.

Por otro lado, al obtener la reducción de la concentración del plomo y cobre, son los indicadores fundamentales en mejora dichos suelos, por dicho motivo se ha tenido la necesidad de remediar los suelos, entonces en las muestras de suelo de la localidad de Silluta se ha aplicado la tecnología de vermicompost a nivel de laboratorio que consiste en que los organismos como la lombriz de tierra al ingerir estos metales procesaron en su organismo y han excretado sin el contenido de metales pesados fundamentalmente de plomo y cobre, de tal forma se tenga que aminorar el contenido de dichos metales, y a su vez conforme al resultado obtenido en forma positiva que se realizó a nivel de laboratorio y se mejoró la calidad de suelo para la producción de los cultivos de la localidad y crianza de animales domésticos.

Por dichas razones se ha realizado el estudio correspondiente en bien de la salud de los seres vivos por ende para los pobladores del sector como también pueda servir como referencia para las localidades contaminadas con residuos mineros similares y así se pueda mejorar los suelos aplicando la tecnología del vermicompost que es una forma de biorremediación de suelos en beneficio de la sociedad.



Figura 4: pasivos mineros de Silluta, Cabanillas, San Román, Puno, Perú.

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo general

- Aplicar la tecnología del vermicompost en la reducción de la concentración de plomo y cobre con diferentes tratamientos y tiempos en muestras de suelos con pasivos mineros de la localidad de Silluta Cabanillas – Puno, Perú.

2.4.2 Objetivos específicos

- Determinar la reducción de la concentración del plomo aplicando la tecnología del vermicompost con diferentes tratamientos y tiempos.
- Determinar la reducción de la concentración del cobre aplicando la tecnología del vermicompost con diferentes tratamientos y tiempos.

2.5 Hipótesis

2.5.1 Hipótesis general

- Aplicando la tecnología de vermicompost en celdas con diferentes tratamientos y tiempos, se reduce la concentración de plomo y cobre en muestras de suelos con pasivos mineros de la localidad de Silluta, Cabanillas – Puno, Perú.



2.5.2 Hipótesis específicos

- Aplicando la tecnología de vermicompost en celdas con diferentes tratamientos y tiempos, se reduce la concentración de plomo.
- Aplicando la tecnología de vermicompost en celdas con diferentes tratamientos y tiempos, se reduce la concentración de cobre.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de estudio

3.1.1 Ubicación

El estudio, políticamente está ubicado en la localidad de Silluta, Distrito de Cabanillas, Provincia de San Román, y Departamento Puno, Perú; y geográficamente entre las coordenadas UTM de 8 268 376 Norte y 354 732 Este y a una altitud de 3944 m.s.n.m., tal como se observa en el anexo 13, así mismo el estudio experimental de biorremediación con muestras extraídas de Silluta se ha realizado en el Barrio Virgen de Rosario de la ciudad, Distrito, Provincia, y Departamento de Puno, entre las coordenadas UTM de 8 249 762 Norte, 388 954 Este y una altitud de 3 995 m.s.n.m. medidos con GPS Garmin map 60, con una aproximación de 2 metros.

3.1.2 Accesibilidad

Se puede llegar por dos rutas bien definidas:

Ruta 1: Puno a Juliaca carretera asfaltada de 45 km, de Juliaca a Cabanillas y al campamento ferroviario Silluta es de 30 km carretera asfaltada, y de este lugar a la mina Silluta en abandono es de 0,5 km sin camino, tal como se expresa en tabla 3.

Ruta 2: Puno a Tiquillaca, Vilque, Mañazo y al campamento ferroviario de Silluta, es de 61 km carretera asfaltada; y de este lugar a la mina Silluta en abandono es de 0,5 km sin camino, tal como se expresa en tabla 3.

3.1.3 Aspectos medioambientales, culturales y sociales

El lugar de estudio presenta un aspecto medio ambiental de terreno con relieve de material cuaternario procedente de la colina Silluta exponiendo una topografía moderada, donde las rocas son esquistos pizarrosos probablemente del paleozoico con un vegetación natural pobre en el cerro mientras que la flora de la parte baja es con pastizales, algunas plantaciones de árboles de eucalipto y áreas cultivables de tubérculos, cereales, forrajes, algunas hortalizas, y en cuanto a la fauna silvestre presenta una variedad de aves, insectos, pequeños reptiles, mamíferos propias de zona, así como la crianza de animales domésticos con son vacunos, ovinos, algunos auquénidos y bestias de carga; por otra parte la geomorfología presenta un drenaje arborescente y afloramiento de aguas subterráneas por el portal de la mina en abandono que presta humedad en el sector, así mismo la localidad tiene un clima que

es propio de la región altiplánica, caracterizado por dos épocas conocidas como la temporada de precipitaciones pluviales que se presenta de setiembre a abril y la época de seco o estiaje de mayo a agosto, donde la temperatura media varía de -5°C hasta $+20^{\circ}\text{C}$ en función a estas épocas que están bien definidas.

Tabla 3

Accesibilidad al lugar de estudio.

Trayecto	Trecho (km)	Carretera	Calidad
Ruta 1			
Puno – Juliaca	45,0	Asfaltada	Buena
Juliaca – Deústua, Cabanillas	28,5	Asfaltada	Buena
Deústua, Cabanillas – campamento ferroviario	1,5	Asfaltada	Buena
Silluta			
Campamento ferroviario Silluta – mina Silluta en abandono	0,5	Tara	Pésimo
Total	75,5	--	--
Ruta 2			
Puno – Tiquillaca	24	Asfaltada	Buena
Tiquillaca – Vilque	9	Asfaltada	Buena
Vilque – Mañazo	10	Asfaltada	Buena
Mañazo - campamento ferroviario Silluta	18	Asfaltada	Buena
Campamento ferroviario Silluta – mina Silluta en abandono	0,5	Tara	Pésimo
Total	61,5		

Los pobladores de la zona se dedican a la actividad agropecuaria que es el sostén de sus familias, así mismo muchos de los jóvenes migran a otras ciudades y otros lugares del país y con bastante frecuencia a las empresas mineras a fin de obtener mejores ingresos económicos en bien de su grupo familiar y otros niños y jóvenes realizan estudios en los diferentes niveles de la educación básica regular, educación superior técnica y universitaria, de tal manera presentan su desarrollo social y cultural, esto ocurre fundamentalmente en los alrededores de la localidad en estudio.

3.2 Población

La población del estudio estuvo conformada por los suelos contaminados por pasivos ambientales sólidos de una superficie estimada de 5 000 m² contaminados con acumulación de escombros de roca y trituración manual del mineral en 04 canchas dejados por la actividad minera ejecutado en el siglo pasado entre las décadas del 60 al 70, suelos con contenidos de plomo y cobre, los cuales han estado y están ocasionando efectos negativos a la salud de los seres humanos y la biodiversidad del lugar, puesto que allí se alimentan de pastos naturales los animales domésticos como ovinos, vacunos y otros, como también en algunas partes se cultivan productos agrícolas de la región.

3.3 Muestra

Se ha considerado como muestra a aquella porción de la población, el cual es representativa y por eso se ha realizado muestreo de suelos por puntos a fin de recolectar muestras de suelos con contenidos de trozos de minerales y escombros mineros con contenidos de plomo, cobre y otros metales que han sido abandonados que hoy conocidos como pasivos mineros.

3.3.1 Tamaño de muestra

Se ha determinado la cantidad de superficie con contenido de material de escombros de roca y mineral triturado contaminante a muestrear en base a la población estimada y de esta cantidad se ha tomado muestras para el tratamiento con la tecnología del vermicompost a nivel de laboratorio, por esta razón se ha calculado el tamaño de muestra y el uso de las muestras en el estudio.

El tamaño de muestra de la superficie se determinó mediante la siguiente fórmula ajustada:

$$n = 1 + \frac{n'}{1+n'/N} \quad \text{Sí: } n' = \frac{S^2}{\sigma^2}$$

Dónde: σ^2 : varianza de la población respecto a determinadas variables.

s^2 : varianza de la muestra, se determina en términos de probabilidad $s^2 = p(1-p)$

se : error estándar ($\mu - \bar{x}$) diferencia entre la media poblacional y la media muestral.

$(se)^2$: error estándar al cuadrado, es para determinar $\sigma^2 =$ varianza poblacional (Hernández, 2014).

Se utilizó la población estimada en superficie de 5 000 m² de suelos contaminados con metales pesados de los pasivos mineros, con un error estándar menor de 0.03 y un nivel de confianza del 95%, por lo que resulta el tamaño de muestra en 52 m² referencialmente, cuyos cálculos son:

$N = 5\,000$ m² de suelos contaminado con pasivos ambientales mineros del lugar.

$se = 0.03$; $\sigma^2 = (se)^2 = (0.03)^2 = 0.0009$; $s^2 = p(1-p) = 0.95(1-0.95) = 0.0475$

Aplicando la fórmula de tamaño de muestra (n):

$$n' = \frac{S^2}{\sigma^2} = \frac{0.0475}{0.0009} = 52,78$$

Luego se ajusta el resultado con la siguiente relación:

$$n = 1 + \frac{n'}{1 + n'/N} = \frac{52,78}{1 + 52,78/5000} = 52,23 \approx 52$$

Determinado la cantidad de muestra que de 52 m² se procede a extracción de la muestra calculada y los procesos complementarios.

El tamaño de muestra de la experimentación con tratamiento, tiempos y bloques extraídos de las celdas se determinó mediante la expresión siguiente:

$$n = ((A \times B) + (A \times B) + (A \times B)) \times C$$

$$n = (1 \times 3) \times 3 \times 4 = 36 \text{ muestras experimentales.}$$

Dónde: n : Tamaño de muestras experimentales

A : 01 tratamiento en tres tiempos diferentes (T_1, T_2, T_3)

B : 03 tiempos (T_0, T_{30}, T_{60}) por tratamiento.

C : 04 repeticiones

Del total de 52 m² de superficie de muestra contaminado que se ha tenido, se ha extraído 36 muestras tratadas con un peso estimado de 2 kilogramos para su tratamiento correspondiente siguiendo el proceso del vermicompost.

3.3.2 Muestreo en cancha de pasivo minero

El muestreo se realizó en el lugar del estudio, para lo cual se ha determinado realizar de la cancha de acumulación de minerales extraído del portal principal que es una cortada con dirección de noroeste a sur-este, ubicado en el nivel más baja del encampane de las labores mineras, que es el pasivo de mayor degradación del lugar en comparación de los otros niveles, por lo que se han tomado una superficie de 5 metros por 10 metros adicionados a cada lado del cuadrilátero el 7,5 % por seguridad

que suman 52,25 m² de superficie de muestreo, en donde se trazó 4 líneas paralelas con una separación de 2 metros entre línea a línea, y entre punto a punto también 2 metros formando una malla de muestreo de 2 por 2 considerando un muestreo sistemático utilizado en minería y por racimos, en los que se excavó pequeños hoyos cada dos metros de distancia de donde extrajo más de 2 kilogramos de material de suelo contaminado del lugar de estudio denominado mina Silluta inactiva, que tiene una topografía de relieve bastante variado, y conforme a las mediciones que se especifican se hizo el muestreo.

La recolección de cada submuestra del suelo con minerales triturados y escombros de roca que se han encontrado en el lugar, se ha excavado pequeños pozos en los puntos que recae la medición de cada 2 metros por 2 metros de malla de superficie de muestreo sobre la cancha del pasivo ambiental minero, donde en cada punto del suelo se han excavado pequeños hoyos de unos 20 centímetros de diámetro y una profundidad de 10 a 15 centímetros, tomándose 7 muestras de cada línea trazada, totalizando 28 porciones de muestras, de los cuales se recogió muestras con un peso de más 3 kilogramos, obteniéndose subtotales de 27 kg de muestra de suelo del primer grupo, luego 24 kg del segundo grupo y 29 kg del tercer grupo y 22 kg del cuatro grupo de las líneas trazadas, de los cuales haciendo el uso de la técnica de cuarteo se han obtenido 13 kg por cada grupo, acumulándose un total de 52 kilogramos de muestras de suelo referenciándose de tamaño de muestra calculada en este caso referido al peso para luego ser trasladado a lugar del tratamiento que ha sido en el Barrio Virgen de Rosario de la ciudad de Puno, cuyo muestreo se puede ver en la figura 5, y anexo 1.

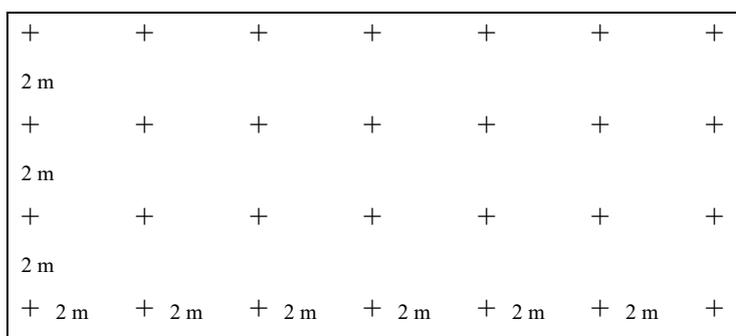


Figura 5: puntos de muestreo en pasivo minero Silluta

Una vez que se obtenido la acumulación del material muestreado, en el mismo lugar se ha procedido a obtener la cantidad de muestra (tamaño de muestra) de material de suelo con contenidos de minerales triturados y escombros mineros, conforme al cálculo del tamaño de

muestra, cuya fórmula corresponde al muestreo probabilístico simple que ha sido aplicado en esta ocasión.

Los 52 kilogramos se ha obtenido utilizando la técnica del cuarteo por cada grupo (se puede ver en anexo 2); y en vista de que el resultado de la extracción de la muestra del lugar fue mayor a la cantidad en peso referenciándose al cálculo realizado teóricamente, luego una vez obtenido en el sitio la muestra necesaria de suelo en peso, se ha procedido a envasar en bolsas de polietileno y luego fue trasladado, que fueron transportados por vía terrestre hasta el lugar de tratamiento indicado en la ciudad de Puno, sitio apropiado donde se ejecutó la experimentación de la reducción del plomo y cobre (metales pesados) aplicando la tecnología del vermicompost que tiene un proceso para dicho fin.

3.3.3 Preparación de muestras para la experimentación con la tecnología del vermicompost a nivel de laboratorio.

Una vez que se tuvo la muestra total en el lugar donde se llevó a cabo el proceso de la experimentación, en este lugar se procedió con la actividad de la molienda del todo el conjunto del material en la ciudad de Puno (sitio de experimentación), esto con la finalidad de homogenizar la muestra extraída de la mina Silluta, concluido con la molienda manualmente en su totalidad, dicho material ha estado expedito para continuar con el proceso de muestreo para la preparación del material de muestra del suelo con la adición de otros materiales complementarios los cuales también se han sometido a molienda tales es como el estiércol, tierra de cultivo, bien mezclados y homogenizado totalmente, para luego ser colocados en cada una de las celdas conjuntamente con las lombrices de tierra, las que se han preparado para tal fin y esto es según la tecnología del vermicompost y así se han sometido a la experimentación de la biorremediación con lombrices de tierra. Este proceso de la preparación de las muestras de experimentación ha sido realizado con sumo cuidado y con los pesos de los materiales estrictamente controlados, los cuales han sido como se expresa seguidamente: se ha preparado un total de 24 celdas que consiste en vasijas de plástico, de los cuales 12 celdas para experimentación durante 30 días de tratamiento, y los otro 12 celdas para la experimentación de 60 días, para cada celda se ha preparado todos en peso seco con una relación de su contenido como es 1:2:3, por consiguiente 250 gramos de estiércol de vaca, 500 gramos de muestra de suelos con contenido de metales pesados como el plomo y cobre en estudio, y 750 gramos tierra de cultivo, mezclados y homogenizados completamente considerados también para las muestras sin tratamiento que no requieren celdas de experimentación, separándose para muestreo de análisis en laboratorio y éstas muestras son válidas para los dos periodos de tratamiento (30 y 60 días).

Las celdas se prepararon con bastante destreza y en el centroide de cada celda se ha colocado un tubito de plástico de una pulgada de diámetro con 15 centímetros de longitud y a lo largo de los tubos se perforó 10 agujeros de 5 milímetros de diámetro para airear el proceso de tratamiento con la tecnología de vermicompost, ver en el anexo 3.

En cada una de las 12 celdas de 30 días de experimentación, se colocó muestra preparada para el tratamiento que consistió en estiércol, muestra de suelo, tierra de cultivo con un peso seco total de 1,5 kilogramos, así, al primer grupo de las 4 celdas (at1, bt1, ct1 y dt1) se ha adicionado 20 lombrices de tierra; al segundo grupo de las 4 celdas (at2, bt2, ct2 y dt2) 30 lombrices de tierra; al tercer grupo de las 4 celdas (at3, bt3, ct3 y dt3) 40 lombrices de tierra, a ellos se ha humedecido con 250 mililitros de agua cada celda; así mismo en cada una de las otras 12 celdas para tratamiento por 60 días, se colocó muestra de tratamiento que consistió en tierra de cultivo, estiércol, y muestra de suelo, un peso seco de 1,5 kilogramos, los cuales se adicionó al primer grupo de las 4 celdas (AT1, BT1, CT1 y DT1) 20 lombrices de tierra; al segundo grupo de las 4 celdas (AT2, BT2, CT2 y DT2) 30 lombrices de tierra; al primer grupo de las 4 celdas (AT3, BT3, CT3 y DT3) 40 lombrices de tierra, donde a ellos se humedeció con la misma cantidad de volumen de agua a los anteriores grupos a cada celda, este proceso se puede ver en la tabla 4 y anexo 4.

Tabla 4

Preparación y distribución de lombrices en las celas de experimentación.

Muestra <i>in situ</i> (<i>sin dilución</i>)	Muestra sin tratamiento	Celdas de tratamiento	Periodo tratamiento (días)	Lombrices de tierra
STA	aAt0	at1, at2, at3	30	0, 20, 30, 40
	aAt0	AT1, AT2, AT3	60	0, 20, 30, 40
STB	bBt0	bt1, bt2, bt3	30	0, 20, 30, 40
	bBt0	BT1, BT2, BT3	60	0, 20, 30, 40
STC	cCt0	ct1, ct2, ct3	30	0, 20, 30, 40
	cCt0	CT1, CT2, CT3	60	0, 20, 30, 40
STD	dDt0	dt1, dt2, dt3	30	0, 20, 30, 40
	dDt0	DT1, DT2, DT3	60	0, 20, 30, 40
4	8	24	2	720

La tabla 4 indica que se tiene 04 muestras de la cancha de la mina Silluta denominado *in situ*, 04 muestras sin experimentar y se duplica para 30 y 60 días a fin observarse el resultado del análisis de laboratorio, 24 muestras de 30 y 60 días experimentación donde se utilizó 720 lombrices para el tratamiento de biorremediación con la tecnología del vermicompost a nivel

de laboratorio. Además, estas celdas se han colocado en un lugar preparado similar a una infraestructura de un vivero o invernadero a fin de mantener una temperatura favorable para el proceso del vermicompost a esta altitud y obtener la reducción del contenido del plomo y cobre. Aquí la muestra sin tratamiento (aAt0, bBt0, cCt0 y dDt0) no estaban en celdas de tratamiento porque es solo material preparado para el análisis de laboratorio, así mismo no estaban las muestras de suelo de la mina Silluta (*in situ*), por lo que la distribución de las celdas de experimentación según los días de tratamiento, y los cuatro bloques descritos se puede ver en la figura 6 y anexo 4.

Experimentación a 30 días (T ₃₀)			Experimentación a 60 días (T ₆₀)			Repetición
at1	at2	at3	AT1	AT2	AT3	1°= a; A
bt1	bt2	bt3	BT1	BT2	BT3	2°= b; B
ct1	ct2	ct3	CT1	CT2	CT3	3°=c; C
dt1	dt2	dt3	DT1	DT2	DT3	4°=d; D

Figura 6: celdas en proceso de tratamiento del vermicompost de 30 y 60 días.

3.3.4 Preparación de muestras para análisis de laboratorio

Concluido el proceso de la experimentación aplicando la tecnología del vermicompost, se procedió al retiro de las lombrices de cada una de las 12 celdas tratadas durante los 30 días de experimentación, luego con el mismo procedimiento se realiza el retiro de las lombrices de las otras 12 celdas con tratamiento de 60 días de experimentación, de ellos quedando solamente la muestra tratada con bastante humedad, por eso se ha realizado el secado total por varios días en la intemperie con la energía de los rayos solares, y a consecuencia del secado, las muestras presentan poros a causa del habitat de las lombrices, por consiguiente la muestra de suelo se visibiliza con pequeños trozos o gránulos un tanto compactos, que requiere nuevamente una molienda hasta obtener este material tratado con granos finos y homogenizado, es decir las muestras tratadas deben tener granos finos que es una recomendación del laboratorista para someter al análisis en el laboratorio por el método de

Absorción Atómica, de tal modo fue posible determinar la cantidad de plomo y el cobre como metales pesados de pasivos mineros de la mina Silluta inactiva.

Una vez concluido el proceso de preparación de las muestras para el análisis en el laboratorio, y por la indicación del laboratorista se procedió al pesaje de cada una de las muestras en una cantidad de medio kilogramo y luego embolsarlo en bolsas de plástico super prácticas hermética con cierre, con sus respectivas etiquetas de cada una de las celdas de tratamiento tal como se puede observar en el anexo 5; en seguida se realizó el embalaje o empaquetado de las muestras en un cajón de cartón también con su etiqueta de remisión que ha sido enviado a Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.Ltda. de la ciudad de Arequipa, por vía terrestre a través de Olva Courier Trans Internacional G&N Sociedad Anónima Cerrada; entregado y recibido por los especialistas de dicho laboratorio, ellos han procedido a realizar el análisis de las muestras de suelo por el método de Absorción Atómica correspondiente, reportándose los resultados en un periodo de tiempo prudencial, los cuales son la recolección de datos y utilizados más adelante en el estudio planteado, dicho proceso se puede ver en la figura 7.

$T_{in-situ}$ (sin diluir)	T_0	T_{30}			T_{60}			Repitición
STA	aAt0	at1	at2	at3	AT1	AT2	AT3	1°= a; A
STB	aBt0	bt1	bt2	bt3	BT1	BT2	BT3	2°= b; B
STC	aCt0	ct1	ct2	ct3	CT1	CT2	CT3	3°=c; C
STD	aDt0	dt1	dt2	dt3	DT1	DT2	DT3	4°=d; D

Figura 7: preparación y embolsado de muestras para análisis en laboratorio

Leyenda: $T_{in situ}$: muestra sin adición de otros materiales (mina Silluta).

T_0 : muestras preparadas sin tratamiento (sin lombrices)

T_{30} : muestras con tratamiento con 20, 30 y 40 lombrices, durante 30 días.

T_{60} : muestras con tratamiento con 20, 30 y 40 lombrices, durante 60 días.

3.3.5 Recolección de datos

El proceso de la recolección de datos se inicia desde la toma de muestras de suelo en forma física que se ejecutó en el mismo sitio de estudio que es la mina Silluta inactiva, donde el tipo de muestreo realizado es conocido como técnica de muestreo

por puntos que se ha descrito en el ítem 3.3.2, estas muestras han sido traídas al Barrio Virgen de Rosario de la ciudad de Puno, lugar georreferenciado en ítem 3.1.1, donde se ha tenido que separar un cantidad como muestra de suelo denominado *in situ* esta muestra es sin ninguna preparación para experimentación a fin de realizar la comparación con lo tratado experimentalmente y obtener un resultado final, cuyos resultados de análisis de laboratorio se puede ver en la tabla 5, que son los datos de campo; luego la otra cantidad de muestra fue preparada y ejecutada en la experimentación de la biorremediación con la finalidad de obtener la reducción de los metales pesados como el plomo y el cobre en muestras de suelo aplicando la tecnología del vermicompost, donde este proceso se ha realizado por un tiempo de 30 y 60 días y resultados planteados hipotéticamente de la reducción de los metales pesados como el plomo y cobre cuya experimentación fue a nivel de laboratorio, siendo las lombrices de tierra los organismos principales como agentes que reducen las concentraciones de metales; concluido el tratamiento de las muestras se llevó a cabo el procedimiento de análisis del contenido de plomo y cobre por el método de absorción atómica en el laboratorio de la ciudad de Arequipa, para lo cual se ha hecho alcance de la información completa de las muestras en la *hoja de datos* proporcionado por LAS para que ellos puedan remitir los resultados del análisis, la hoja de datos se puede ver en el anexo 6 y 7.

Tabla 5

Contenido de plomo y cobre en muestras de suelo (in situ) mina Silluta.

Muestra de suelo mina Silluta	Concentración de metales pesados		pH
	Plomo (%)	Cobre (%)	
STA	3,465	0,141	5,58
STB	3,400	0,155	5,53
STC	3,174	0,151	5,44
STD	2,764	0,110	5,50

Fuente: Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.Ltda. (2022).

Procedido de remitir las hojas de datos a LAS, se han sometido al análisis de las muestras y concluido dichos trabajos en laboratorio me hicieron llegar los resultados en porcentajes del contenido de plomo y cobre respectivamente, estos han sido la recolección de datos cuantificados para el estudio, los cuales se registran y se puede ver en la tabla 6 y 7, y anexos 8, 9, y 10.

Tabla 6

Contenido de plomo y cobre en muestras de suelo tratadas por 30 días

Muestra tratada		Contenido de metales pesados	
T ₀	T ₃₀	Pb (%)	Cu (%)
aAt0,	at1, at2, at3	1,273; 0,410; 0,410; 0,380	0,051; 0,020; 0,023; 0,018
bBt0,	bt1, bt2, bt3	1,346; 0,463; 0,567; 0,563	0,055; 0,076; 0,023; 0,024
cCt0,	ct1, ct2, ct3	1,179; 0,446; 0,495; 0,505	0,048; 0,027; 0,024; 0,023
dD0,	dt1, dt2, dt3	1,355; 0,648; 0,550; 0,646	0,050; 0,028; 0,023; 0,024

Fuente: Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.Ltda. (2022)

Tabla 7

Contenido de plomo y cobre en muestras de suelo tratadas por 60 días

Muestra tratada		Contenido de metales pesados	
T ₀	T ₆₀	Pb (%)	Cu (%)
aAt0,	AT1, AT2, AT3	1,273; 0,388; 0,355; 0,368	0,051; 0,022; 0,170; 0,020
bBt0,	BT1, BT2, BT3	1,346; 0,414; 0,399; 0,421	0,055; 0,022; 0,018; 0,019
cCt0,	CT1, CT2, CT3	1,179; 0,399; 0,364; 0,370	0,048; 0,019; 0,023; 0,030
dD0,	DT1, DT2, DT3	1,355; 0,398; 0,451; 0,438	0,050; 0,025; 0,015; 0,018

Fuente: Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.Ltda. (2022)

Así mismo durante el tiempo del proceso de experimentación aplicando la tecnología del vermicompost se ha tomado datos de temperatura de las muestras de suelo con el instrumento denominado termómetro infrarrojo UT300S electrónico digital y la temperatura ambiental con mini anemómetro digital UT363 electrónico digital, así mismo se tomó la medición del pH de las muestras con el instrumento llamado probador pH / temperatura multifuncional pH 61181, cuyos datos tomados durante el proceso de experimentación por los 30 días en horas de la mañana de 9:30 a.m. todos los días, el promedio de las mismas se pueden ver en las tablas 8; de similar forma el procedimiento de toma de datos referidos a las variables de temperatura y pH se han obtenido con el control continuo durante el proceso de experimentación a las 9:30 a.m. de la mañana por un periodo de 60 días, además es preciso indicar que a cada celda con muestras de experimentación ha sido necesario e imprescindible el rociado con agua con un volumen de 150 mililitros en inter diaria con la finalidad de mantener la vida de las lombrices porque su habitat es en un terreno bastante húmedo, estos datos se pueden ver en la tabla 9.

3.4 Métodos de investigación

En este acápite se ha considerado fundamentalmente el tipo de estudio y el diseño de investigación que se ha aplicado a fin lograr el objetivo trazado y la probar la hipótesis planteada de modo dar la respuesta a la formulación del problema de investigación.

3.4.1 Tipo de investigación

El estudio realizado esta identificado de *tipo explicativo* en razón a que la variable independiente es la concentración de plomo y cobre en los suelos que son considerados como pasivos mineros que consistió en los minerales triturados, así como los escombros extraídos de interior mina han sido dejados en la superficie del suelo denominados canchas de acumulación de material rocoso con minerales de plomo y cobre sin ninguna prevención de los efectos e impactos que puedan producir al medio ambiente del lugar, cuyo proceso han sido conforme a la extracción de la muestras descritas en el acápite 3.3.2, que luego en siguiente capítulo será descrito y explicado según los resultados del estudio, así mismo la variable dependiente es la aplicación de tecnología del vermicompost a fin de determinar la reducción de la concentración de plomo y cobre en las muestras de suelo de la mina Silluta preparadas para el tratamiento con la utilización de las lombrices de tierra a nivel de laboratorio, cuyo proceso se ha descrito en el acápite 3.3.3, para después determinar la cuantía de la reducción del contenido de los metales pesados de plomo y cobre en el suelo con pasivo ambiental minero, consecuentemente el método utilizado es identificado como inductivo y aplicativo en forma genérica y como estrategia específica es la biorremediación de los suelos con pasivos ambientales.

Tabla 8

Datos promedio de temperatura de muestra del proceso de experimentación

Muestra en celdas			Temperatura (°C)		
T ₀ días	T ₃₀ días	T ₆₀ días	T ₀ días	T ₃₀ días	T ₆₀ días
aAt0	at1, at2, at3	AT1, AT2, AT3	9,5	9,4 9,1 9,6	9,4 9,2 7,9
bBt0	bt1, bt2, bt3	BT1, BT2, BT3	9,1	9,2 8,9 9,1	7,8 7,8 7,7
cCt0	ct1, ct2, ct3	CT1, CT2, CT3	9,2	9,3 8,9 9,1	8,0 7,8 7,6
dD0	dt1, dt2, dt3	DT1, DT2, DT3	9,3	9,4 8,9 9,2	8,3 7,9 7,7

Tabla 9

Datos promedio de pH del proceso de experimentación.

Muestra en celdas			pH						
T ₀ días	T ₃₀ días	T ₆₀ días	T ₀ días	T ₃₀ días			T ₆₀ días		
aAt0	at1, at2, at3	AT1, AT2, AT3	6,10	6,36	6,56	6,55	6,19	6,25	6,19
bBt0	bt1, bt2, bt3	BT1, BT2, BT3	5,98	6,09	6,41	6,47	6,16	6,23	6,19
cCt0	ct1, ct2, ct3	CT1, CT2, CT3	6,05	6,06	6,07	6,13	6,15	6,13	6,19
dD0	dt1, dt2, dt3	DT1, DT2, DT3	6,03	6,15	6,13	6,55	6,10	6,15	6,18

3.4.2 Diseño de investigación

Como el tipo de estudio es explicativo, entonces para este caso, se ha planteado el tipo de *diseño experimental* con la preparación de las muestras *in situ* del lugar para la experimentación a nivel de laboratorio, que consiste una combinación de materiales del suelo con porción de tierra de cultivo, pequeña porción de estiércol de ganado vacuno, los que han implicado construir celdas para realizar el proceso de experimentación teniendo en cuenta el tiempo a transcurrir por conjunto de celdas, peso de materiales de suelo indicados y descritos en el acápite 3.3.3 y cantidad de lombrices por cada celda, y según la exigencias de la investigación para este nivel, se han realizado por bloques y con repeticiones, a la que se considera como diseño factorial completo 2^k que se adapta con aproximación en el estudio.

Modelo de diseño experimental

El modelo del diseño experimental para el cálculo de la reducción del plomo o cobre este dado mediante la siguiente función:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + e_{ijk}$$

- Dónde: Y_{ijk} : Cantidad de reducción del plomo o cobre (unidad experimental).
 μ : Factor inicial sin tratamiento (media general de ensayo)
 α_i : Factor de tratamiento con lombrices (efecto de tratamiento)
 β_j : Factor de tiempo (efecto de tratamiento).
 $(\alpha\beta)_{ij}$: Factor de interacción entre tiempo y tratamiento (Efecto de interacción).
 e_{ijk} : Error experimental.

La función expresada nos conduce a la determinación de la reducción y la cuántía de lombrices y tiempo son los rangos aceptados con la tecnología de biorremediación, el análisis que genera el modelo a ser aplicado se puede ver tabla 10 y 11.

Tabla 10

Análisis de varianza (ANOVA) para datos experimentales.

Fuentes variación	Suma de		
	cuadrados (SC)	Grados de libertad (gl)	Cuadrado medio (CM)
Bloque	SC _B	gl _B = r - 1	
Tratamiento A	SC _A	gl _A = α - 1	CM _A = SC _A / gl _A
Tratamiento B	SC _B	gl _B = β - 1	CM _B = SC _B / gl _B
Interacción (A x B)	SC _{A x B}	gl _{AB} = (α - 1) (β - 1)	CM _{AB} = SC _{AB} / gl _{AB}
Error (e)	SCE(e)	glE(β) = n β = α (r - 1) (β - 1)	CME _β = SCE _β / glE _β
Total	SCT	gl _t = α β r - 1	

Fuente: Martínez, A. (1988).

La tabla 10, muestra la certeza o la validación del modelo de experimento de dos factores con interacción de los tratamientos, donde la matriz de dichos tratamientos con lombrices y por tiempos, a su vez por cuatro bloques, que se realizó.

Tabla 11

Fórmulas de análisis de varianza ANOVA

Fuente de variación	Suma de cuadrados (SC)	Grados libertad	Cuadrados medios (CM)	F
Entre muestras	$SC_{trat} = \sum_1^k n_i (x_i - X)^2$	$k - 1$	$CM_{trat} = SC_{trat} \div k - 1$	$F = \frac{CM_{trat}}{CM_{error}}$
Dentro de muestras	$SC_{error} = \sum_1^k \sum_1^n (x_{ij} - X)^2$ $SC_{error} = SC_{total} - SC_{trat}$	$N - k$	$CM_{error} = SC_{error} \div N - k$	
Total	$SC_{total} = \sum_1^k \sum_1^n (x_{ij} - X)^2$	$N - 1$		

Fuente: Micro Software Excel.

3.4.3 Análisis estadístico de datos

El análisis estadístico de datos y sus diferencias observables entre los tratamientos de las variables del estudio, y para la interpretación de los resultados se ha utilizado la *estadística descriptiva e inferencial*, que son los fundamentos teóricos aplicables para el estudio, en tal sentido ha sido apropiado aplicar el Micro Software Excel y SPSS V.22, con sus análisis de estadígrafos de análisis de *varianza (ANOVA)*, que han expuesto los resultados expedito para la explicación y así mostrar los gráficos correspondientes para entender aún mejor la tecnología del vermicompost como una

alternativa de la biorremediación de los suelos contaminados con metales pesados generados por las actividades mineras del pasado conocidos como pasivos mineros. Los datos producto del análisis de laboratorio, son sometidos al análisis estadístico del diseño experimental, descrito en el acápite 3.4.2.

Al notarse las *diferencias moderadas* en los tratamientos de la experimentación se aplicó la *prueba de Fisher (F)* con una significancia del 95 % y con un valor crítico de 0,05, así en las tablas de los resultados muestran las medias obtenidas por los tratamientos, el error estándar y el coeficiente de variación, las que se muestran en las tablas y se explican con detalle en el siguiente capítulo.

3.5 Descripción detallada de los métodos por objetivos específicos

Se utilizó el método tradicional *inductivo*, siendo el tipo de investigación *explicativo*, donde se ha descrito en forma detallada los resultados de la concentración del plomo y cobre como metales pesados tóxicos, los cuales son la recopilación de los datos de la experimentación y visualizados aparentemente la reducción del plomo y cobre con la aplicación del proceso de tratamiento aplicando la metodología del vermicompost como una tecnología de la biorremediación de los suelos degradados con la acumulación de la trituración manual de los minerales de plomo, cobre y escombros mineros generados por la actividad minera de la década del 60 al 70 del siglo pasado en el sector Silluta, el organismo que juega un papel muy importante en esta ocasión son las lombrices de tierra que mediante el metabolismo de su cuerpo muestran los resultados expectantes según el análisis de laboratorio por el método de Absorción Atómica las que están definidos mediante el modelo de experimentación de a nivel de laboratorio.

Entonces el proceso metodológico y su respectivo análisis estadístico con el diseño experimental es aplicado para cada objetivo específicos planteado, es decir la estrategia y la técnica son las apropiadas para el estudio realizado.

3.5.1 Descripción de técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas e instrumentos del estudio, con el diseño experimental aplicando la tecnología del vermicompost se describe como sigue:

En el proceso experimental del vermicompost para la reducción de la concentración del plomo y cobre en las muestras de suelo de la mina Silluta inactiva se utilizó materiales, equipos, e insumos que han sido descritos ampliamente en los ítems 3.3.2 y 3.3.3, sin embargo, se describe y es como sigue:

Celdas de experimentación: se utilizó 12 celdas que son bandejas de plástico de 0,15 m x 0,17 m x 0,14 m, para colocar 0,5 kg de muestra de suelo con minerales triturados y escombros con contenido de plomo (Pb) y cobre (Cu), 0,75 kg de tierra de cultivo, 0,25 kg de estiércol, mezclados y bien homogenizados.

Bloques de repetición: se tuvo 04 bloques de repetición, cada bloque consta de 06 celdas, de ellos en las 03 primeras celdas se colocó la muestra preparada con 20, 30 y 40 lombrices con una duración de 30 días de tratamiento, así mismo en las 03 celdas restantes la misma cantidad de lombrices con una duración de 60 días de tratamiento, se han humedecido con 150 mililitros de agua inter diario y aireados mediante un tubo pequeño con 10 agujeros a lo largo de su longitud, este proceso se hizo en todas las celdas.

Lombrices de tierra: son los organismos fundamentales encargados de absorber y reducir los metales pesados como el plomo y el cobre, durante la experimentación mediante la tecnología del vermicompost, donde se han utilizado un total de 720 lombrices en 24 celdas de tratamiento de muestras de suelo de la mina Silluta.

Tiempo de tratamiento: la duración del tratamiento fue de 30 días en 12 celdas; 60 días en las otras 12 últimas celdas.

Muestras de suelo de la mina Silluta (*in situ*) inactiva: se ha descrito con detalle en ítem 3.3.2, aquí se indica las muestras de suelo del lugar molidas y enviadas para análisis en el Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.Ltda. de Arequipa por el método de Absorción Atómica.

Muestras preparadas sin tratamiento: son una porción de la muestra que se preparó para el experimento, entonces según la técnica se separó 04 muestras que no han sido adicionados las lombrices y no han sido colocados en celdas por ser innecesario su tratamiento, estas muestras son válidas para cada una de los bloques y para cada tiempo de experimentación, las misma se envió para el análisis en el Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.Ltda. de Arequipa.

Muestras para análisis en laboratorio: son las muestras que se extrajo una vez concluido el tiempo de experimentación, así se extrajo 12 muestras tratadas por 30 días y otras 12 muestras tratadas por 60 días de cada una de las celdas en forma independiente y se envió para que sea sometido al análisis de suelo en el Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.Ltda. de Arequipa, por el método de Absorción Atómica y se obtuvo los resultados correspondientes al porcentaje de plomo y cobre en las muestras de tratadas.

Tubos de aireación: material de PVC de tamaño pequeño con agujeros perforados a lo largo de la longitud del tubo, que se coloca en el centroide de la celda que permite la aireación de material experimental.

Mini anemómetro digital UT363: instrumento electrónico digital que mide la velocidad del aire y temperatura del ambiente con una resolución de $0,1^{\circ}\text{C}$ con un rango de -10°C a 50°C con una precisión de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, y se utilizó para medir la temperatura ambiental del lugar de la experimentación, que se construyó en forma de un vivero o invernadero, ver anexo 11.

Termómetro infrarrojo UT300S: instrumento electrónico pequeño, liviano y mediante proyección rayos láser mide la temperatura de superficies sólidas interiores y exteriores en forma rápida y precisa a distancia con una resolución de $0,1^{\circ}\text{C}$, cuyo rango de medición es de -32°C a 400°C con una exactitud de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, que se utilizó para el control de la medición de la temperatura de las muestras en las celdas de experimentación, ver en el anexo 11.

Probador pH / temperatura multifuncional pH 61181: instrumento electrónico digital que puede medir con precisión el *potencial de hidrógeno* (pH) y temperatura al mismo tiempo que sirve para la medición de la acidez o la alcalinidad de los suelos, agua potable, carne, y leche, la metodología de medición es en una solución de pasta en una relación de 1 a 2 de agua destilada a suelo respectivamente, y la calibración se realiza con solución neutra, en seguida con solución ácida y finalmente con solución alcalina y se calibra automáticamente, que se utilizó para medir el grado de pH de las muestras en las celdas en proceso de experimentación, el instrumento se puede ver en el anexo 12.

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.Ltda.: empresa privada que realiza análisis de muestras de suelos y sedimentos, agua, metales pesados, minerales, etc., por diferentes métodos de ensayo de Absorción Atómica, EPA Method6010D. Inductively Coupled plasma - Optical Emission Spectrometry, en la ciudad de Arequipa; se solicitó el servicio de los análisis de los 32 muestras que corresponden a 04 muestras de suelo de la mina Silluta, 04 muestras sin tratamiento válidas para los 4 bloques de repetición donde cada bloque consta de 06 muestras (03 de 30 días de tratamiento y 03 de 60 días de tratamiento) y 24 muestras con tratamiento durante la experimentación con la tecnología del vermicompost aplicado a suelos con metales pesados. Se ha considerado un total de 36 datos (32 analizados más 4 repetidos).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados del proceso experimental de suelo contaminado con pasivos mineros

El experimento realizado aplicando el proceso de la tecnología del vermicompost que consistió en obtener muestras de suelo de los pasivos mineros de la localidad de Silluta, en la que se encuentran contaminados con metales pesados como el plomo, cobre y otros, entonces se han estudiado experimentalmente a nivel de laboratorio a fin de obtener la disminución la concentración de los indicados elementos, así concluido el proceso del tratamiento con lombrices de tierra en dos tiempos diferentes de 30 y 60 días y con la suficiente cantidad de muestras, se llegó a obtener los resultados que se detallan en los siguientes acápite conforme a los objetivos específicos e hipótesis planteados.

4.1.1 Lombrices de tierra en la experimentación del vermicompost

En la experimentación de la reducción de los metales pesados del plomo y cobre se aplicó la tecnología del vermicompost en la que se utilizó los organismos que habitan en las tierras de cultivo como son las lombrices de tierra, siendo ellos los protagonistas fundamentales en la absorción de los metales los cuales son digeridos en su proceso metabólico de su cuerpo y al excretar devuelven al suelo como materia fértil disminuyendo los contaminantes presentes en las muestras de suelo de las canchas de la mina que son los pasivos ambientales mineros, por lo tanto se ha considerado la cantidad de 20, 30 y 40 lombrices según los tratamientos en las celdas de experimentación, tal como se puede ver en la tabla 12.

Tabla 12

Lombrices de tierra en las celdas de experimentación.

Cuatro repeticiones	Lombrices de tierra (tratamiento 30 días)				Lombrices de tierra (tratamiento 60 días)			
	t0	t1	t2	t3	T0	T1	T2	T3
a, A = b, B = c, C = d, D	00	20	30	40	00	20	30	40
Totales	00	80	120	160	00	80	120	160

La tabla 12, indica la cantidad de lombrices que se utilizó en la experimentación en cada uno de los tratamientos con tiempos de 30 y 60 días, en las cuatro repeticiones (bloques), donde se ha tenido un total de 720 lombrices.

4.1.2 Temperatura (°C) y pH en la experimentación con vermicompost

Durante el proceso de la experimentación se han considerados factores adicionales como es la temperatura ambiental, la temperatura y el pH de las muestras de suelo en las celdas de tratamiento con lombrices de tierra, dichos factores han sido necesarios medirlos a fin de complementar con éxito la experimentación con el vermicompost, de tal modo se obtuvo los datos de temperatura, siendo la media de las medias de 8,72 °C y el potencial de hidrógeno (pH) la media de las medias de pH es de 6,23, como se pueden observar en las tablas 13 y 14.

Determinación de la media, varianza y error estándar

La determinación de la medida de tendencia central y de dispersión son necesarios en los diferentes estudios, por eso se ha considerado dichos cálculos estadísticos como los primeros pasos para la descripción, el análisis y la correspondiente explicación de los resultados de la investigación, se muestra en la tabla 13.

Tabla 13

Temperatura (°C) en muestras de suelo durante la experimentación.

Repetición	Temperatura (°C) 30 días				Temperatura (°C) 60 días			
	t0	t1	t2	t3	T0	T1	T2	T3
1°=a; A	9,5	9,4	9,1	9,6	9,5	9,4	9,2	7,9
2°=b; B	9,1	9,2	8,9	10,1	9,1	7,8	7,8	7,7
3°=c; C	9,2	9,3	8,9	8,7	9,2	8,0	7,8	7,6
4°=d; D	9,3	9,4	8,9	10,2	9,3	8,3	7,9	7,7
Promedios	9,28	9,33	8,95	9,65	9,28	8,38	8,18	7,73
Varianzas	0,029	0,025	0,010	0,470	0,029	0,028	0,469	0,016

La tabla 13 muestra los datos promedios de las mediciones de temperatura en °C de las muestras de suelo en las celdas durante la experimentación con vermicompost por un periodo de 30 y 60 días, y a una temperatura ambiental de 17,2 °C; así como los resultados obtenidos son mostrados en la tabla 14 y la varianza de las cuatro repeticiones (bloques) realizadas.

La obtención de la media (\bar{X}), varianza (S^2), y error estándar (σ) de temperatura (°C) y pH en muestras de suelo en celdas de repetición según el tratamiento de 30 y 60 días, se ha calculado mediante las fórmulas:

$$\text{Media de temperatura } ^\circ\text{C y pH:} \quad \bar{X}_{\text{C}} = \Sigma^4_1 \div n \quad \bar{X}_{\text{pH}} = \Sigma^4_1 \div n$$

Varianza de temperatura °C y pH:

$$S^2_{\text{°C}} = [\sum^4_1 (X_i - \bar{X}_{\text{°C}})^2] \div (n-1) \quad S^2_{\text{pH}} = [\sum^4_1 (X_i - \bar{X}_{\text{pH}})^2] \div (n-1)$$

Error estándar (σ) de la temperatura (°C) y el pH

$$\sigma = (\mu_{\text{cm}} \div \sqrt{n}) [\sqrt{(\sum \mu^2_{\text{cmi}} \div n^2)}] \quad \sigma (\text{°C}) \quad \sigma (\text{pH})$$

Tabla 14

Potencial de hidrógeno (pH) en muestras de suelo en periodo del experimento.

Repetición	pH (30 días)				pH en 60 días			
	t0	t1	t2	t3	T0	T1	T2	T3
1°=a; A	6,10	6,36	6,56	6,55	6,10	6,19	6,25	6,19
2°=b; B	5,98	6,09	6,41	6,47	5,98	6,16	6,23	6,19
3°=c; C	6,05	6,06	6,07	6,13	6,05	6,15	6,13	6,19
4°=d; D	6,03	6,15	6,13	6,55	6,03	6,10	6,15	6,18
Promedios	6,4	6,17	6,29	6,43	6,04	6,15	6,19	6,19
Varianzas	0,004	0,028	0,054	0,040	0,004	0,001	0,040	0,00003

La tabla 14 muestra los resultados promedios de las mediciones del potencial de hidrógeno (pH) de las muestras de suelo en las celdas durante la experimentación con la tecnología del vermicompost con tratamiento durante un tiempo de 30 y 60 días, a una temperatura ambiental de la infraestructura donde se hizo el tratamiento con lombrices; así como la determinación de la media y la varianza de las cuatro repeticiones (bloques) ejecutadas.

4.1.3 Combinación de °C y pH en celdas de experimentación por repeticiones

Se ha combinado los factores adicionales como la temperatura (°C) y el potencial de hidrogeno (pH) en las muestra de suelo de las celdas de experimentación que ha permitido tener un conocimiento previo de que se tiene la reducción del contenido de los metales pesados como el plomo y el cobre, ya que la temperatura se ha mantenido para el hábitat de los lombrices durante el tiempo del proceso de experimentación y el grado de alcalinidad estuvo en una tendencia de ascendencia y la acidez en descendencia, en comparación con los datos de las muestras sin tratamiento en las cuatro repeticiones del estudio, tal como se puede ver en las figuras 8, 9, 10 y 11.

Tabla 15

Temperatura (°C) y pH de muestras en celdas de primera repetición.

Celdas	aAt0	at1	at2	at3	AT1	AT2	AT3
Temperatura °C	9,5	9,4	9,1	9,6	9,4	9,2	7,9
pH	6,10	6,36	6,56	6,55	6,19	6,25	6,19

Leyenda:

aAt0 : muestra en celda sin tratamiento.

at1, at2, at3 : muestras en celdas tratadas con 20, 30 y 40 lombrices en 30 días.

AT1, AT2, AT3 : muestras en celdas tratadas con 20, 30 y 40 lombrices en 60 días.

La tabla 15 indica el resultado promedio de las mediciones de las temperaturas y el potencial de hidrógeno de las muestras de suelo en las celdas del experimento con vermicompost, tratadas durante un periodo de 30 y 60 días de la primera repetición.

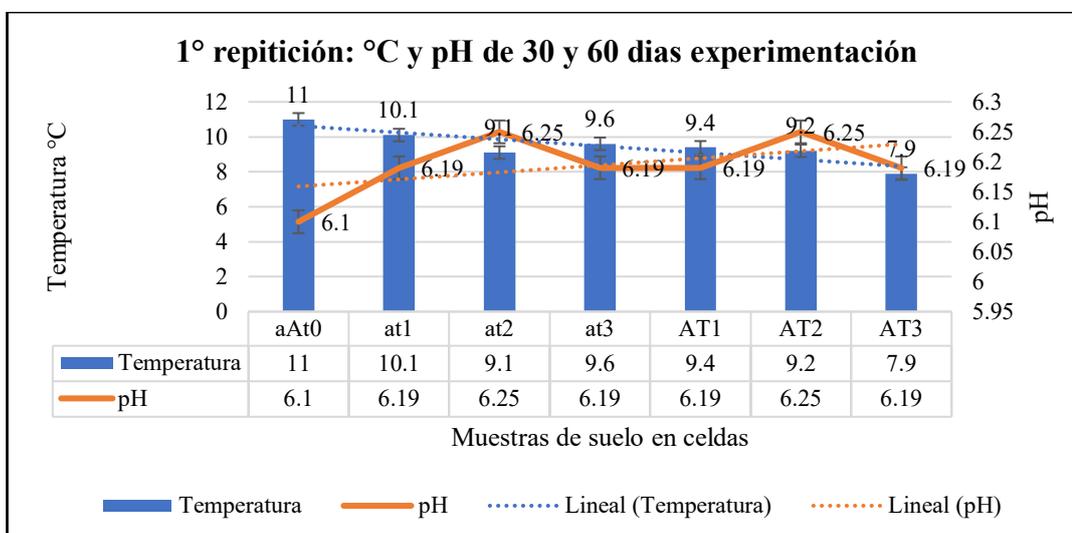


Figura 8: gráfico combinado de °C y pH en celdas de primera repetición.

La figura 8, muestra que el pH está en una tendencia de ascenso de 3,5 entre los tratamientos en 30 y 60 días y la temperatura en descenso probable por el factor climático, mostrando un error típico o estándar estimado de $\pm 0,7$ según el gráfico, lo que indica que existe una disminución de la acidez en las muestras de suelo que implica hay reducción del sulfuro de plomo (galena), mientras que la temperatura está ligero descenso.

Tabla 16

Temperatura (°C) y pH de muestras en celdas de segunda repetición.

Celdas	bBt0	bt1	bt2	bt3	BT1	BT2	BT3
Temperatura °C	9,1	9,2	8,9	9,1	7,8	7,8	7,7
pH	5,98	6,09	6,41	6,47	6,16	6,23	6,19

Leyenda:

bBt0 : muestra en celda sin tratamiento.

at1, bt2, bt3 : muestras en celdas tratadas con 20, 30 y 40 lombrices en 30 días.

BT1, BT2, BT3 : muestras en celdas tratadas con 20, 30 y 40 lombrices en 60 días.

La tabla 16 muestra los resultados promedios de las mediciones de temperaturas y el potencial de hidrógeno (pH) de las muestras de suelo en las celdas de la experimentación con tratamientos durante el tiempo de 30 y 60 días correspondientes a la segunda repetición experimental.

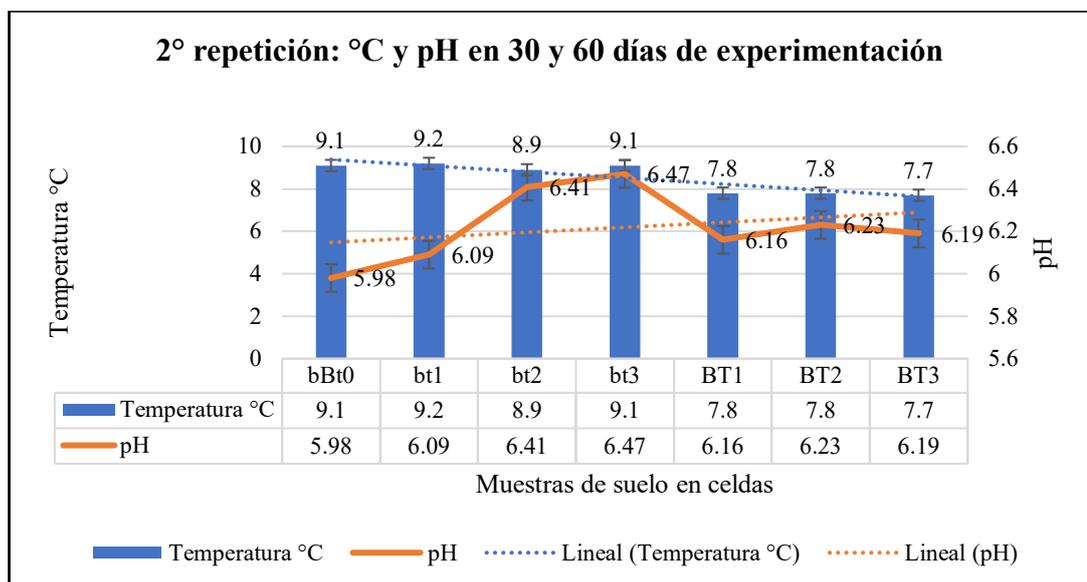


Figura 9: gráfico combinado de °C y pH en celdas de segunda repetición.

La figura 9, que pertenece a la segunda repetición experimental, muestran la tendencia del pH que está en ligero ascenso de 0,21 considerando los 30 y 60 días de tratamiento, pero se puede observar que en primer tratamiento el ascenso es más pronunciado que en el segundo, cuyo error estándar estimado según el gráfico es de +0,75 aproximadamente, mientras que la temperatura de las muestras en las celdas está en ligero descenso similar al anterior.

Tabla 17

Temperatura (°C) y pH de muestras en celdas de tercera repetición.

Celdas	cCt0	ct1	ct2	ct3	CT1	CT2	CT3
Temperatura °C	9,2	9,3	8,9	9,1	8,0	7,8	7,6
pH	6,05	6,06	6,07	6,13	6,15	6,13	6,19

Leyenda:

cCt0 : muestra en celda sin tratamiento.

ct1, ct2, ct3 : muestras en celdas tratadas con 20, 30 y 40 lombrices en 30 días.

CT1, CT2, CT3 : muestras en celdas tratadas con 20, 30 y 40 lombrices en 60 días.

La tabla 17 indica los resultados promedios de las mediciones de las temperaturas y el pH de las muestras de suelo en las celdas del experimento con vermicompost, que han sido tratadas durante 30 y 60 días en la tercera repetición.

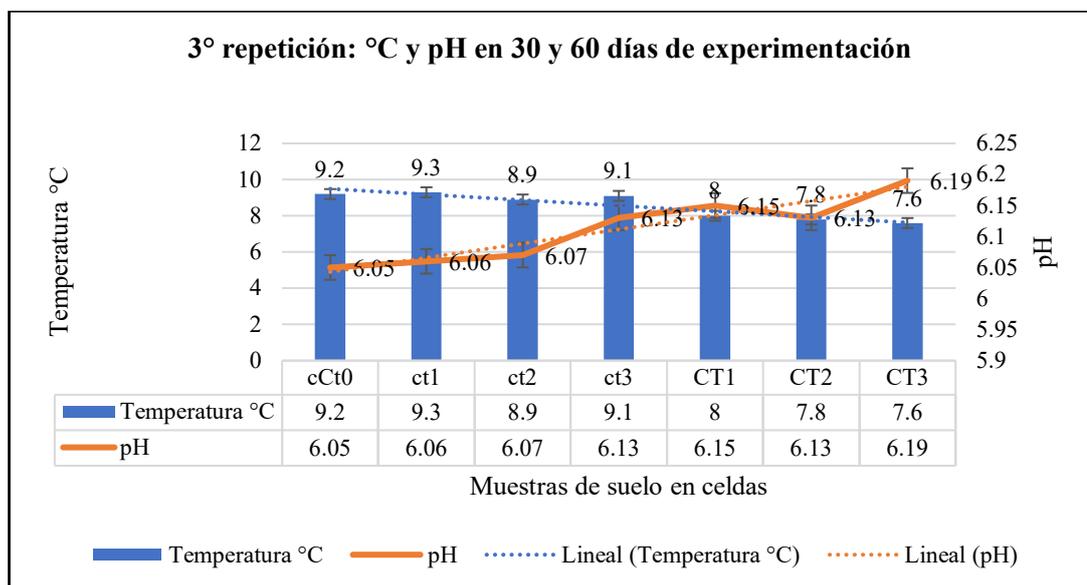


Figura 10: gráfico combinado de °C y pH en celdas de tercera repetición.

En esta tercera repetición de la experimentación, la figura 10 muestra que es similar a las anteriores, donde la tendencia es en ligero ascenso del pH en 0,14 que implica ligera reducción de la acidez, por ende, se presume que los minerales sulfurados están disminuyendo ligeramente en su contenido en las muestras de suelo que se encuentran en las celdas de tratamiento.

Tabla 18

Temperatura (°C) y pH de muestras en celdas de cuarta repetición.

Celdas	dDt0	dt1	dt2	dt3	DT1	DT2	DT3
Temperatura °C	9,3	9,4	8,9	9,2	8,3	7,9	7,7
pH	6,03	6,15	6,13	6,55	6,10	6,15	6,18

Leyenda:

dDt0 : muestra en celda sin tratamiento.

dt1, dt2, dt3 : muestras en celdas tratadas con 20, 30 y 40 lombrices en 30 días.

DT1, DT2, DT3 : muestras en celdas tratadas con 20, 30 y 40 lombrices en 60 días.

En la tabla 18 se observa los promedios de las mediciones de las temperaturas y el potencial de hidrógeno de las muestras de suelo en las celdas de la experimentación tratadas con lombrices durante 30 y 60 días de la cuarta repetición experimental.

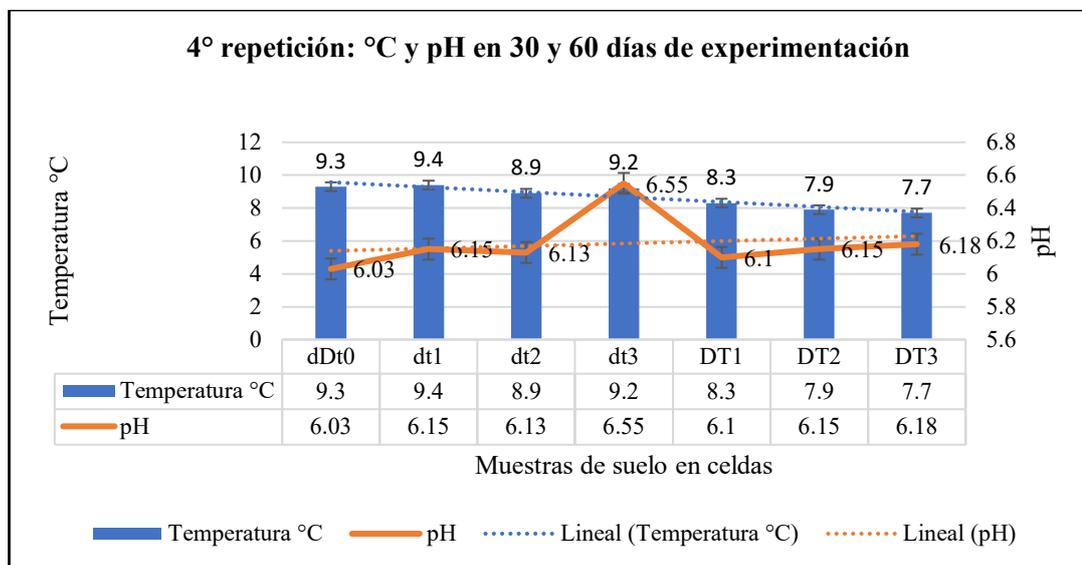


Figura 11: gráfico combinado de °C y pH en celdas de cuarta repetición.

La figura 11, que corresponde a la cuarta repetición de la experimentación con la tecnología del vermicompost, muestra que el pH tiene una tendencia ligera de ascenso de 0,15 considerando ambos tratamiento en tiempos de 30 y 60 días, pero se observa que tiene una ascendencia moderada de 0,52 en los 30 días de tratamiento con un error estándar o típico de +- 0,25 según el gráfico poligonal, siempre como en los anteriores se observa una ligera tendencia de descenso de la temperatura en las muestras de las celdas de experimentación, entonces las diferentes figuras muestran

cierta tendencia de ascenso del pH que conduce a tener un previo conocimiento de la reducción del porcentaje del contenido de los metales pesados como el plomo y cobre que provienen de los minerales sulfurados como la galena argentífera y la calcopirita ya que dichos minerales se disuelven con el agua y conducen a la acidez del suelo, y por otra parte, el mineral de plomo y plata ha sido explotado en la mina que es otra de las razones.

4.2 Resultados experimentales de reducción de plomo en suelos con pasivos

mineros

Para el logro del *primer objetivo específico*, se aplicó la tecnología del vermicompost para la biorremediación de las muestras de suelo con pasivos mineros de la mina Silluta inactiva, contaminados con metales pesados como el plomo, por lo que se realizó el estudio experimentalmente a nivel de laboratorio obteniéndose la *reducción del contenido de plomo* al concluir el proceso del tratamiento con lombrices de tierra en dos tiempos diferentes de 30 y 60 días, donde se llegó a obtener los resultados que se detallan para *validar el primer hipótesis específico y el primer objetivo específico* planteado.

4.2.1 Análisis de reducción del contenido de plomo en muestras

Se procedió a ejecutar el estudio a fin de obtener resultados de disminución de la concentración del plomo (Pb) en muestras de suelo de la mina Silluta con la aplicación de la tecnología del vermicompost que consistió en utilizar las lombrices de tierra para la *reducción del plomo que es el primer objetivo específico*, por eso se presentan los resultados de análisis de laboratorio obtenidos mediante el método de absorción atómica, que vienen a ser la recopilación de los datos que han sido sometidos a los análisis de las técnicas estadísticas descriptivas e inferenciales que ha requerido el estudio, de tal modo se elaboraron tablas y gráficos que muestran los resultados específicos por cada repetición y por tiempos de tratamiento con lombrices de tierra que es el proceso de la experimentación de la tecnología del vermicompost, así mismo se sometió al análisis de varianza al conjunto de datos con tratamiento y sin tratamiento, con lo que se aplicó la prueba de distribución Fisher (F) y se contrastó la hipótesis planteada, así mismo se aplicó el Método Tukey para tomar la decisión correspondiente, y con la referencia del proceso experimental se infiere la reducción de la concentración del plomo; entonces todo este proceso es para la descripción y su correspondiente explicación según los resultados de los análisis estadísticos y las

pruebas de hipótesis correspondientes, a fin de validar el trabajo de investigación realizado a nivel de laboratorio, y para el logro del objetivo específico planteado.

Determinación de la media y varianza de contenido de plomo

Se utilizó las fórmulas de las medias de tendencia central y de dispersión que son las técnicas estadísticas descriptivas y con los instrumentos digitales conocidos como software el Excel y el SPSS para las técnicas estadísticas inferenciales, los que han arrojado resultados de la investigación para el metal pesado del plomo (Pb) que se realizó con cuatro repeticiones y con dos tiempos de tratamiento de 30 y 60 días de experimentación aplicando la tecnología del vermicompost con uso de las lombrices de tierra para la disminución del metal pesado que se presentan en las tabla 19.

Tabla 19

Porcentaje, media y varianza de plomo (Pb) de muestras de suelo.

Repeticione s	Tratamiento en 30 días (t)				Tratamiento en 60 días (T)			
	t0	t1	t2	t3	T0	T1	T2	T3
1° = a; A	1,273	0,410	0,410	0,380	1,273	0,388	0,355	0,368
2° = b; B	1,346	0,463	0,567	0,563	1,346	0,414	0,399	0,421
3° = c; C	1,176	0,446	0,495	0,505	1,176	0,399	0,364	0,370
4° = d; D	1,355	0,648	0,550	0,646	1,355	0,398	0,451	0,438
n	4	4	4	4	4	4	4	4
Suma (X _i)	5,150	1,967	2,022	2,094	5,150	1,599	1,569	1,597
Media (\bar{X})	1,288	0,492	0,506	0,524	1,288	0,400	0,392	0,400
Varianza	0,0078	0,0101	0,005	0,0125	0,0078	0,0001	0,0013	0,0018
N; k				16; 4				16; 4
Suma total				11,233				9,915

Leyenda:

t0 = T0 : sin tratamiento en 30 y 60 días.

t1, t2 y t3 : con tratamiento de 20, 30 y 40 lombrices en 30 días.

T1, T2 y T3 : con tratamiento de 20, 30 y 40 lombrices en 60 días.

En la tabla 19, se puede observar los resultados del análisis de laboratorio del contenido de plomo de las cuatro repeticiones de experimentación en dos tiempo de

30 y 60 días con tratamiento de 20, 30 y 40 lombrices por cada tiempo, así mismo se ve los resultados de muestras sin tratamiento, en concreto vienen a ser la recolección de datos para el estudio, y los resultados de la suma de datos, media, varianza, suma total de datos, y número de datos muestrales y poblacionales, que son fundamentales que sirvieron en la aplicación de los análisis de datos mediante los estadígrafos descriptivos que fueron indispensables para la descripción de los resultados, luego se aplicó las estadísticas inferenciales que determinaron los resultados de la reducción de concentración del plomo en las muestras de suelo con pasivos ambientales mineros.

4.2.2 Reducción de contenido de Pb con vermicompost por repeticiones

Según el reporte del análisis de laboratorio de las muestras de suelos con pasivos mineros, se experimentó aplicando la técnica del vermicompost que consistió en el tratamiento con organismos como las lombrices de tierra con lo que se obtuvo los resultados de reducción del contenido de plomo, es así que se presenta la tabulación y la elaboración del manifiesto de cada una de las repeticiones experimentales, cuya media de las medias es de 53,68 % de decremento del contenido de plomo en las muestras diluidas, tal como se pueden verificar en las tablas 20, 21, 22, y 23, así también lo propio en las figuras 12, 13, 14, y 15.

Tabla 20

Concentración de plomo tratados con lombrices en la primera repetición.

Muestra en celdas	aAt0	at1	at2	at3	AT1	AT2	AT3	Media ($\bar{X}_{at,AT}$)
N° de lombrices	00	20	30	40	20	30	40	--
% Pb: 1 y 2 mes	1,273	0,410	0,410	0,380	0,388	0,355	0,368	0,321
Reducción (%Pb) = $(aAt0 - \bar{X}_{at,AT})100 \div aAt0$								74,78 %

La tabla 20 presenta la cuantía de lombrices en las celdas y los resultados del reporte del análisis de laboratorio de las muestras de suelo en la celda sin tratamiento y en el resto de las celdas con tratamientos de 20, 30 y 40 lombrices en 30 y 60 días en la primera repetición del experimento, así mismo indica la media del contenido de plomo tratado en 0,321 % de plomo, y el porcentaje disminuido en promedio comparado con el resultado del contenido de plomo sin tratamiento.

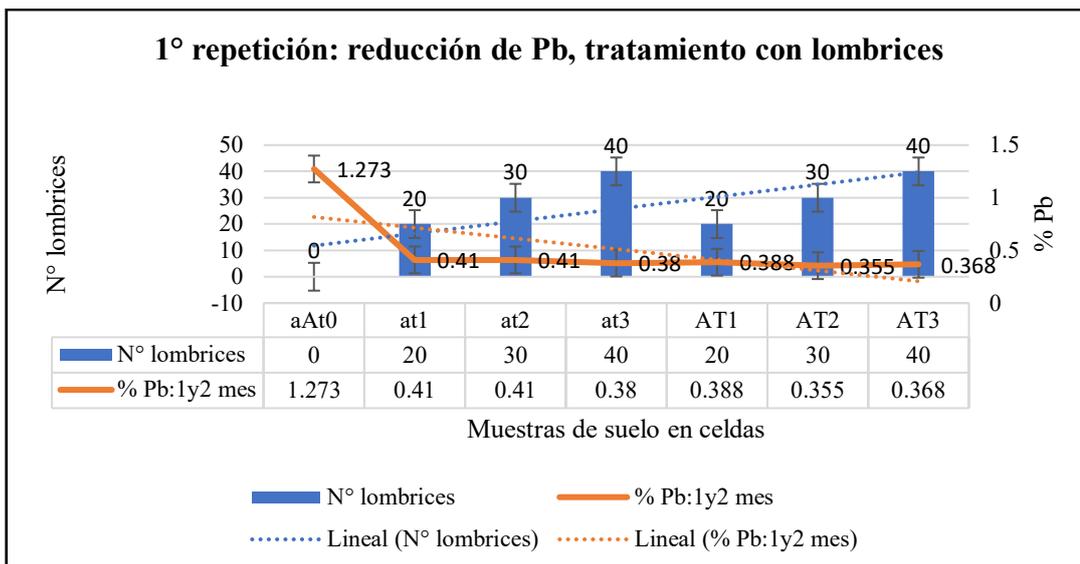


Figura 12: gráfico combinado de lombrices y plomo en primera repetición.

La figura 12 indica la concentración del plomo sin tratamiento (aAt0) y describe el trabajo de las lombrices en cada una de las muestras de pasivos mineros ubicados en celdas de tratamiento (at1, at2, at3 y AT1, AT2, AT3) mostrando los resultados del contenido de plomo, la cantidad de lombrices, error típico estimado en $\pm 0,5\%$, y la tendencia de plomo a seguir decreciendo lentamente y cuasi horizontalmente en los 30 y 60 días, con escasa diferencia en ambos tiempos de la primera repetición.

Tabla 21

Concentración de plomo tratados con lombrices en la segunda repetición

Muestras en celdas	bBt0	bt1	bt2	bt3	BT1	BT2	BT3	Media ($\bar{X}_{bt,BT}$)
N° de lombrices	00	20	30	40	20	30	40	--
% Pb: 1 y 2 mes	1,346	0,463	0,567	0,563	0,414	0,399	0,421	0,471
Reducción (%Pb) = $(bBt0 - \bar{X}_{bt,BT})100 \div bBt0$								65,01 %

La tabla 21 muestra el número de lombrices de tierra utilizado en las celdas del experimento, así mismo los resultados del reporte del análisis de laboratorio de las muestras en celda sin tratamiento, y con tratamientos de 20, 30 y 40 lombrices en 30 y 60 días de la segunda repetición del experimento, por otra parte se muestra la media del contenido de plomo tratado, que es de 0,471 % de plomo, y el porcentaje promedio que disminuye la concentración de plomo lo que es comparado con el resultado del contenido de plomo sin tratamiento en este grupo.

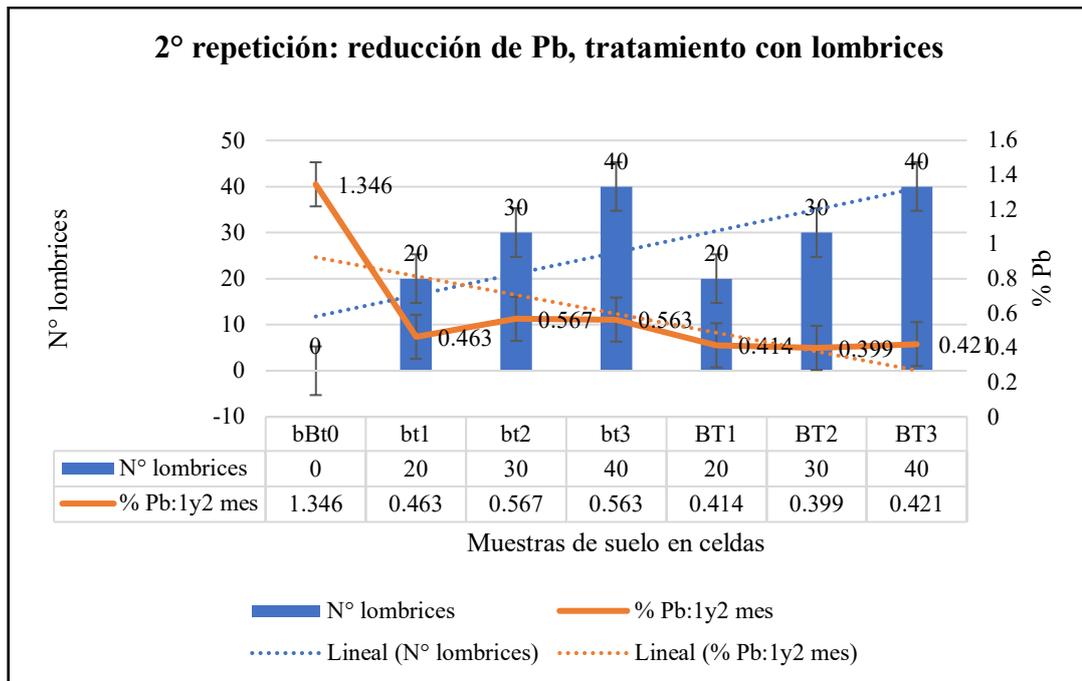


Figura 13: gráfico combinado de lombrices y plomo en segunda repetición.

La figura 13, que es gráfico de las variables que indica la concentración del plomo sin tratamiento (bBt0) y muestra la descripción de la actividad positiva de las lombrices en cada una de las muestras con pasivos mineros restantes ubicados en celdas de tratamiento (bt1, bt2, bt3 y BT1, BT2, BT3) mostrando los resultados del contenido de plomo, así mismo muestra la cantidad de lombrices, los gráficos del error típico estimado en $\pm 0,5\%$, y la tendencia de la variable plomo es a seguir decreciendo con variabilidad en los 30 días mientras que en la experimentación de los 60 días decrece con cierta homogeneidad y con lentitud durante la segunda repetición.

Tabla 22

Concentración de plomo tratados con lombrices en la tercera repetición.

Muestras en celdas	cCt0	ct1	ct2	ct3	CT1	CT2	CT3	Media ($\bar{X}_{ct, CT}$)
N° de lombrices	00	20	30	40	20	30	40	--
% Pb:1 y 2 mes	1,179	0,446	0,495	0,505	0,399	0,364	0,370	0,429
Reducción (%Pb) = $(cAt0 - \bar{X}_{ct, CT})100 \div cCt0$								36,39 %

La tabla 22 expone el número de lombrices utilizados en las celdas de tratamiento (ct1, ct2, ct3 y CT1, CT2, CT3) donde los análisis de laboratorio reportaron resultados indicados en la segunda fila de la tabulación con tratamiento de 20, 30 y 40 lombrices en 30 y 60 días de la tercera repetición del experimento, y el resultado de la muestra en la celda sin tratamiento (cCt0), así mismo indica que la media del contenido de plomo tratado es de 0,429 % de plomo, y el porcentaje disminuido en promedio comparado con el resultado del contenido de plomo sin tratamiento.

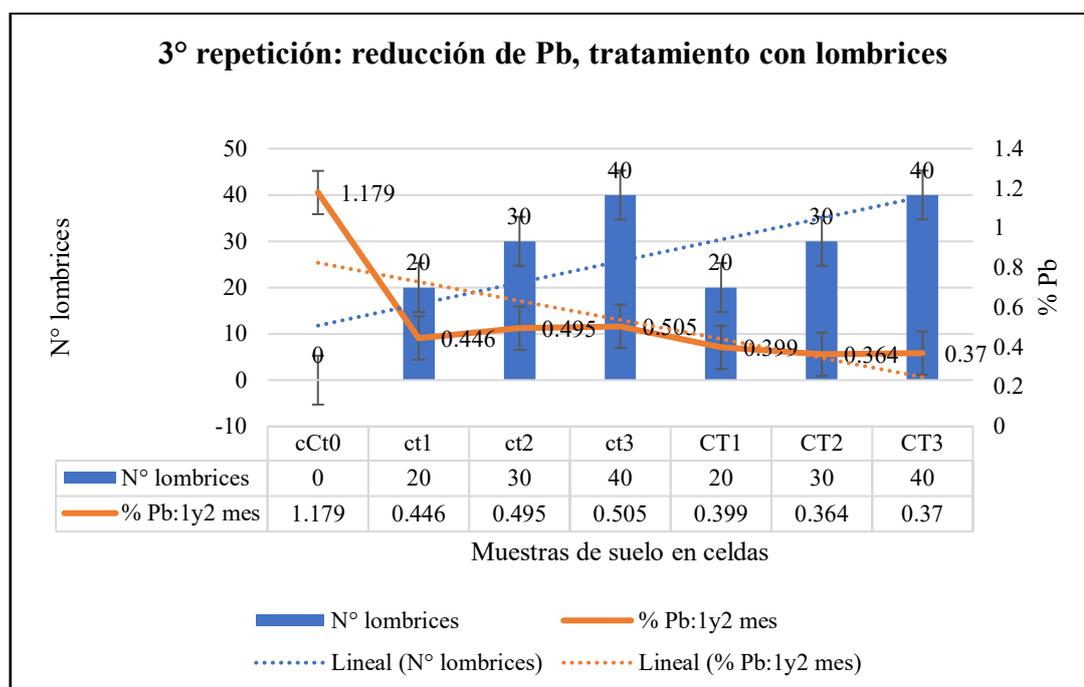


Figura 14: gráfico combinado de lombrices y plomo en tercera repetición.

La figura 14 revela el contenido de plomo sin tratamiento (cCt0) y describe la actividad ejecutada de las lombrices en forma positiva en cada una de las muestras de pasivos mineros ubicados en celdas de tratamiento, así mismo la tabulación del gráfico indicando los resultados del contenido de plomo, de similar forma señala la cantidad de lombrices en cada una de las celdas, los gráficos del error típico estimado aproximadamente en $\pm 0,5\%$, también muestra la tendencia de plomo a seguir decreciendo con cierta variabilidad en los 30 días, mientras que en la experimentación de los 60 días decrece con cierta regularidad y lento durante la tercera repetición del experimento.

Tabla 23

Concentración de plomo tratados con lombrices en la cuarta repetición.

Muestras en celdas	dDt0	dt1	dt2	dt3	DT1	DT2	DT3	Media ($\bar{X}_{dt,DT}$)
N° de lombrices	00	20	30	40	20	30	40	--
% Pb:1 y 2 mes	1,355	0,648	0,550	0,646	0,398	0,451	0,438	0,522
Reducción (%Pb) = $(dDt0 - \bar{X}_{dt,DT})100 \div dDt0$								38,52 %

La tabla 23 expone la cantidad de lombrices en las celdas y el reporte de los resultados del análisis de laboratorio de muestra sin tratamiento (dDt0), y con tratamientos en celdas (dt1, dt2, dt3 y DT1, DT2, DT3) con el uso de 20, 30 y 40 lombrices durante los 30 y 60 días de la cuarta repetición de la experimentación, así mismo señala la media del contenido de plomo que fue en 0,522 % y el porcentaje promedio reducido que ha sido comparado con el resultado del contenido de plomo sin tratamiento.

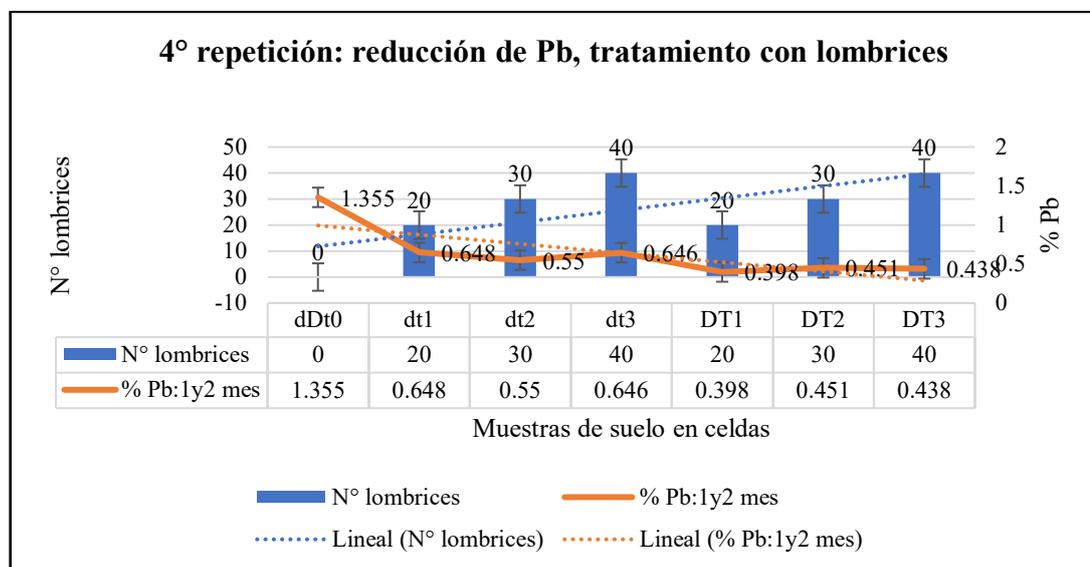


Figura 15: gráfico combinado de lombrices y plomo en cuarta repetición.

La figura 15 indica el contenido de plomo sin tratamiento sin barra en el gráfico y describe la actividad operativa de las lombrices en forma positiva en cada una de las muestras de suelo con pasivos mineros ubicados en las celdas de tratamiento señalados en la tabulación del gráfico mostrando los resultados del contenido de plomo, así mismo presenta la cuantía de lombrices, los gráficos del error típico estimado aproximadamente en $\pm 0,5\%$ y su tendencia de plomo de seguir

decreciendo con cierta variabilidad en los 30 y 60 días de la cuarta repetición de la experimentación con vermicompost; por eso la media de las medias es de 53,68 % de decremento de Pb.

4.2.3 Reducción de plomo (Pb) en muestras de pasivos mineros de Silluta

Concluido el análisis de los resultados que se realizó a nivel de laboratorio en celdas de experimentación aplicando la técnica del vermicompost, se procedió a efectuar los cálculos y comparaciones con el reporte de análisis de laboratorio de las muestras de suelo con pasivos mineros al que se denominó muestras sin dilución (*in situ*) cuya concentración resultó con una media de 3,2003 % de Pb, mientras que los resultados que preceden se han denominado muestras diluidas en razón a que se preparó para llevar la experimentación en el que se mezcló la muestra *in situ* (sin diluir) con tierra de cultivo y estiércol para el tratamiento con lombrices, entonces producto de esta actividad se obtuvo la reducción real del contenido de plomo en las muestras de extraídas de la localidad de Silluta denominado % de Pb reducido sin dilución que fue de 2,3478 % de Pb que es la media, que se obtiene de la media reducida % Pb tratado en cada repetición más (+) la resta de % Pb sin dilución menos % Pb sin tratamiento en cada repetición, y por diferencia de la media de % Pb sin dilución (3,2003 % de Pb) menos la media de % de Pb reducido sin dilución, resulta que se redujo en 0,8525 % de Pb con la experimentación a nivel de laboratorio, así mismo se calculó la reducción porcentual media que resultó 26,6941 % tomándose en cuenta que el 100 % es el concentración de Pb en las muestras de con pasivos mineros de la localidad de Silluta el cual indica que se logró positivamente el primer objetivo específico planteado en el estudio, los cuales se presentan en la tabulación de los datos previamente analizados y su correspondiente gráfico expresado en una histograma, como se puede ver en la tabla 24 y figura 16.

Tabla 24

Contenido y reducción de plomo (Pb) en muestras de pasivos mineros.

Repeticiones	1° = a; A	2° = b; B	3° = c; C	4° = d; D	Media
% Pb sin dilución (<i>in-situ</i>)	3,463	3,400	3,174	2,764	3,2003
% Pb reducido sin dilución	2,511	2,525	2,424	1,931	2,3478
% Pb reducido	0,952	0,875	0,750	0,833	0,8525
Pb reducido (%)	27,4906	25,7353	23,6295	30,1375	26,6941

La tabla 24 exhibe la concentración de plomo en las muestras de pasivos mineros de la localidad de Silluta expresados en % de Pb sin dilución (*in-situ*), así mismo muestra el % de Pb reducido sin dilución que se observa en la segunda fila de la tabla, lo mismo señala la media de la concentración de plomo que se ha reducido en la tercera fila de la tabulación, y por último indica la cantidad porcentual que se redujo el contenido de plomo en las muestras de con pasivos mineros de la localidad, que implica se obtuvo el primer propósito motivo de la investigación.

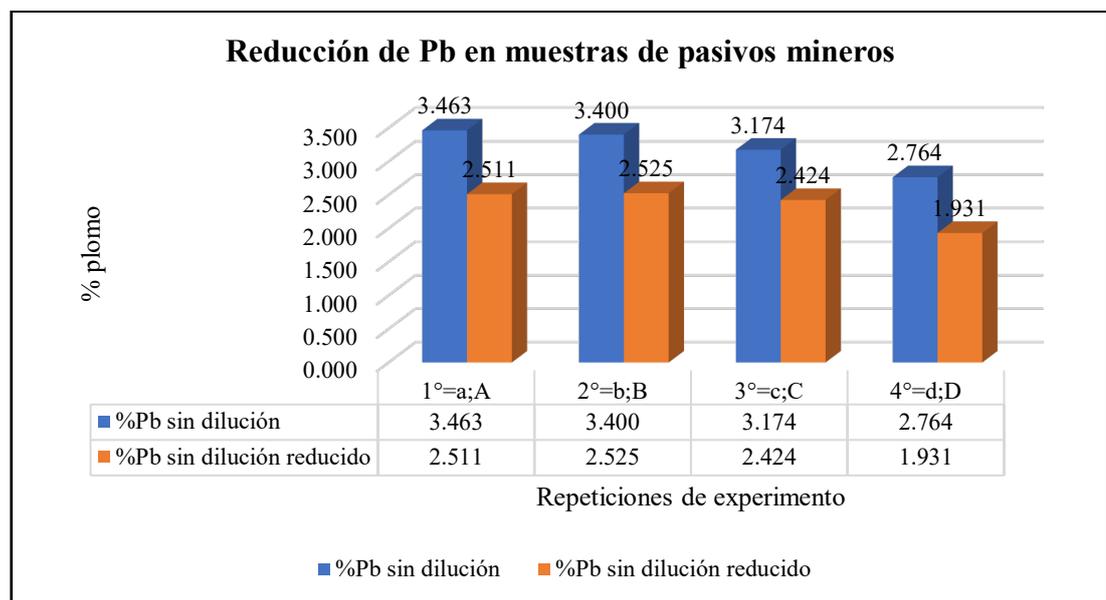


Figura 16: gráfico de reducción de plomo en muestras de pasivos mineros.

La figura 16 señala que el contenido de plomo (Pb) en las muestras no diluidas de pasivos mineros se expresan en las barras más altas, mientras que las barras de menor altura son la concentración de plomo que ha quedado con el contenido de plomo en cada una de las repeticiones que se llevó a cabo la experimentación aplicando la tecnología del vermicompost, el cual muestra realmente que *sí ostenta la reducción de la concentración de Pb* en las muestras de la localidad que se ha estudiado.

4.2.4 Análisis de varianza (ANOVA) para plomo (Pb)

Se realizó el análisis estadístico aplicando el modelo de análisis de varianza (ANOVA) paramétrico factorial a fin de identificar y determinar la reducción del porcentaje de plomo en las muestras de suelo en celdas con tratamiento de la tecnología del vermicompost a nivel de laboratorio en un periodo de 30 y 60 días, por lo que se determinó los diferentes parámetros que requiere este modelo tales

como: las fuentes de variación, suma de cuadrados, grados de libertad, cuadrados medios, la distribución de Fisher para el contraste de la hipótesis planteada, los cuales se pueden ver en la tabla 25.

Tabla 25

Resultados de análisis de varianza (ANOVA) para plomo (Pb).

Origen de variación	Muestras con 30 y 60 días de tratamiento				
	Suma de cuadrados (SC _{30 y 60})	Grados de libertad	Cuadrados medios (CM _{30 y 60})	F _{30 y 60}	Valor crítico para F
Entre los grupos	1,829959187; 2,37866187	3 3	0,609986395; 9,79288729	68,3255593; 312,414095	3,490
Dentro de los grupos	0,10713175; 0,03045525	12 12	0,008927646; 0,002537938		
Total	1,937090937; 2,409121437	15 15			

La tabla 25 expresa los parámetros del análisis de varianza para la reducción del plomo en las muestras de suelo en la mina Silluta, donde se encontró que la suma de cuadrados para 30 días de tratamiento (SC₃₀) es de 1,829959187 y para 60 días es de 2,37866187 que viene a ser la variación entre los grupos (muestras), así mismo la suma de cuadrados de error (dentro del grupo) es de 0,10713175 y 0,03045525 para tratamiento de 30 y 60 días respectivamente; así mismo se ve que los cuadrados medios (CM₃₀ y CM₆₀), y las distribuciones Fisher (F₃₀ y F₆₀) son para ambos tratamientos de vermicompost en 30 y 60 días.

4.2.5 Prueba de hipótesis para plomo (Pb) con distribución F.

Realizada los cálculos el valor crítico de la distribución $F_{\alpha, k-1, N-k}$, que viene a ser la inversa de la distribución F de cola a la derecha, a la probabilidad de 0,05, con grados de libertad de 1 y grados de libertad 2 (horizontal y vertical en la tabla F); lo cual viene a ser el valor crítico ($F_{\text{crítico}} = F_{\alpha, k-1, N-k}$), cuyo resultado es de 3,490 para el tratamiento de vermicompost en 30 días y 60 días, mientras que la F calculada ($F_0 = F_{30}$ y F_{60}) es de 68,3255593 para tratamiento de 30 días, y 312,414095 para tratamiento de 60 días, tal como se puede ver en la tabla 25.

Por teoría, se rechaza H_0 , si: $F_0 > F_{\alpha, k-1, N-k}$ y se acepta la hipótesis alternativa (H_1). Se ha hecho la contrastación de la prueba F , donde se determinó que *la F calculada es mayor que F crítico* en ambos tratamientos, por tanto, *se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa o de investigación (H_1) que ha sido planteada*, que versa lo siguiente: aplicando la tecnología de vermicompost en celdas con diferentes tratamientos y tiempos, se reduce la concentración de plomo en las muestras de suelos con pasivos ambientales mineros de la localidad de Silluta Cabanillas – Puno, Perú.

4.2.6 Comparación de medias muestrales de Pb con Método Tukey

A la aceptación de la hipótesis específica para reducción de plomo (Pb), se realizó la comparación de las diferencias entre medias muestrales con el valor crítico encontrado; para lo cual se aplicó el *Método de Tukey*

El Método de Tukey, está dada mediante la relación siguiente:

$$T_{\alpha} = q_{\alpha} (k, N-k) \sqrt{CM_E \div n_i}$$

Donde:	T_{α}	= valor de Tukey
	$q_{\alpha} (k, N-k)$	= puntos porcentuales de distribución del rango estudentizado (tabla).
	α	= nivel de significancia.
	CM_E	= cuadrado medio del error.
	n_i	= N° de datos por tratamientos.
	K	= N° de tratamientos.

La teoría indica que *si la diferencia de las medias muestrales es mayor que el Tukey calculada entonces son significativas y si es lo contrario es no significativo*, además indica que *las diferencias muestrales son el valor absoluto*.

Aplicando el método Tukey para tratamiento de vermicompost en 30 y 60 días ($T_{\alpha 30}$ y $T_{\alpha 60}$) fue de: 0,198421064 y 1,105793698 respectivamente; entonces se realizó la comparación de las diferencias muestrales con el Tukey calculado, y resultados se observan en la tabla 26.

Tabla 26

Diferencias de medias muestrales con el Método Tukey ($T_{\alpha 30}$ y $T_{\alpha 60}$) para plomo.

Diferencia poblacional	Diferencias muestrales (tratamientos en días)		Decisión (tratamientos en días)	
	30	60	30	60
$\mu_1 - \mu_2$	0,796	0,888	Significativa	No significativa
$\mu_1 - \mu_3$	0,734	0,896	Significativa	No significativa
$\mu_1 - \mu_4$	0,381	0,888	Significativa	No significativa
$\mu_2 - \mu_3$	0,014	0,008	No significativa	No significativa
$\mu_2 - \mu_4$	0,032	0,000	No significativa	No significativa
$\mu_3 - \mu_4$	0,018	0,008	No significativa	No significativa

La tabla 26 indica que la determinación de *Método Tukey*, ha permitido comparar los pares de las medias poblacionales con lo que se determinó que las medias muestrales son significativo como es $\mu_1 = \mu_3 = \mu_4$ mientras que $\mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ sus diferencias son *no significativa*, así también las medias muestrales en la experimentación de 60 días se observa $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ *son significativas* que implica hubo buena absorción por tanto se ha tenido reducción del porcentaje de plomo, y en los pares muestrales con tratamiento de vermicompost en 30 y 60 por lo tanto hubo reducción del porcentaje del plomo, lo que indica que la hipótesis planteada es acertada en la biorremediación con la tecnología del vermicompost.

4.2.7 Modelo experimental en disminución de porcentaje de plomo

El uso del modelo experimental que se planteó a nivel factorial estima la disminución en porcentaje del plomo (Pb) con el tratamiento de la tecnología del vermicompost en tiempos de uno y dos meses (30 y 60 días), cuyo modelo experimental pueda ser útil es: $Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + e_{ijk}$; utilizando lo indicado a estimado similar a los resultados obtenidos por el Método Tukey donde la reducción del contenido de plomo en las muestras de experimentación para el tratamiento del periodo de tiempo de 30 y 60 días se ha observado que las medias de las medias muestrales son significativas y no significativas de disminución de plomo, que implica determinar las celdas que tienen diferencias significativas con los se han determinado la comparación de las medias muestrales en la disminución de plomo en las muestras de suelo con pasivos mineros de Silluta,

4.3 Resultados experimentales de reducción de cobre en suelos con pasivos mineros

Para el logro del *segundo objetivo específico*, se aplicó la tecnología del vermicompost como biorremediación de las muestras de suelo con pasivos mineros en la localidad de la mina Silluta inactiva, contaminados con metales pesados como el cobre, por eso se realizó el estudio experimentalmente a nivel de laboratorio y se ha obtenido la disminución del contenido de elemento al concluir el proceso del tratamiento con lombrices de tierra en dos tiempos diferentes de 30 y 60 días, se llegó a los resultados que se detallan para *validar el segundo hipótesis específico y el segundo objetivo específico* planteado.

4.3.1 Análisis de reducción de contenido de cobre en suelos con vermicompost

Se realizó el análisis correspondiente a la reducción de la concentración del cobre (Cu) en muestras de suelo con pasivos mineros de la localidad de Silluta aplicando la tecnología del vermicompost que consistió en utilizar las lombrices de tierra para alcanzar el logro del *segundo objetivo específico que es la reducción del cobre* que se formuló en el estudio, por eso se presentan los resultados de análisis de laboratorio obtenidos mediante el método de absorción atómica, que son los datos que se analizaron con estadísticas descriptivas e inferenciales, por lo que se procedió con la elaboración de las tablas y gráficos que muestran los resultados específicos en cada repetición y según los tiempos de tratamientos con lombrices de tierra que es el proceso del experimento, así mismo se realizó el análisis de varianza de los datos con tratamiento y sin tratamiento, los que han conducido a la aplicación de la prueba de distribución Fisher (F) para contrastar la hipótesis planteada, y se aplicó el método Tukey para tomar la decisión, por eso se describió y explicó conforme a los resultados de los análisis estadísticos y las pruebas de hipótesis.

Determinación de la media y varianza de cobre en muestras

Se determinó las medias de tendencia central y de dispersión que son las técnicas estadísticas descriptivas y con los instrumentos digitales conocidos como software el Excel y el SPSS para las técnicas estadísticas inferenciales, los que han hecho alcance resultados del estudio para el metal pesado el cobre (Cu) que se hizo con cuatro repeticiones y cada repetición con dos tiempos, con tratamiento de 20, 30 y 40 lombrices en las muestras de suelo en cada una de las celdas de 30 y 60 días de experimentación aplicando la técnica del vermicompost, por lo que estos cálculos de

media y varianza son los que determinaron la secuencia del proceso del análisis estadístico descriptivo e inferencial como fue la aplicación del análisis de varianza y la prueba de hipótesis a fin de validar la disminución del metal pesado, los que se presentan en las tabla 27.

Tabla 27

Porcentaje, media y varianza de cobre (Cu) en muestras de suelo.

Repeticiones	Tratamiento en 30 días (t)				Tratamiento en 60 días (T)			
	t0	t1	t2	t3	T0	T1	T2	T3
1° = a; A	0,051	0,020	0,023	0,018	0,051	0,022	0,170	0,020
2° = b; B	0,055	0,076	0,023	0,024	0,055	0,022	0,018	0,019
3° = c; C	0,048	0,027	0,024	0,023	0,048	0,019	0,023	0,030
4° = d; D	0,050	0,028	0,023	0,024	0,050	0,025	0,015	0,018
n	4	3	4	4	4	4	3	4
Suma (X_i)	0,204	0,075	0,093	0,089	0,204	0,088	0,056	0,087
Media (\bar{X})	0,051	0,025	0,023	0,022	0,051	0,022	0,019	0,022
Varianza (S^2)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N; k				15; 4				15; 4
Suma total				0,461				0,435

La tabla 27 presenta los resultados del análisis de laboratorio de las cuatro repeticiones de experimentación del contenido de cobre (Cu), así como el tiempo de experimentación de los 30 y 60 días, con tratamiento de 20, 30 y 40 lombrices por cada tiempo, así mismo muestra los resultados de las muestras sin tratamiento y con tratamiento los que vienen a ser datos requeridos para el estudio, así mismo expone los resultados de la suma de datos, media, varianza, suma total de datos, y número de datos muestrales y poblacionales, que sirvieron en la aplicación de los análisis de datos mediante las estadísticas descriptivos y luego se aplicó la técnica de las estadísticas inferenciales que determinan los resultados de la reducción de la concentración del cobre en las muestras de suelos contaminados.

4.3.2 Reducción de contenido de Cu con vermicompost por repeticiones

Se obtuvo el reporte del análisis de laboratorio de las muestras de suelos con pasivos mineros con contenido del metal pesado que es el cobre que se experimentó con la aplicación de tecnología del vermicompost realizándose con el uso de los organismos como son las lombrices de tierra, con lo que se obtuvo los resultados de reducción

del contenido de cobre, por eso se presentan en la tabulación y la elaboración del manifiesto estadístico de cada una de las repeticiones experimentales, donde la media de las medias es de 52,34, tal como se pueden verificar en las tablas 28, 29, 30, y 31, así también lo propio en las figuras 17, 18, 19, y 20.

Tabla 28

Contenido de cobre tratados con lombrices en la primera repetición.

Muestras en celdas	aAt0	at1	at2	at3	AT1	AT3	Media ($\bar{X}_{at;AT}$)
N° de lombrices	00	20	30	40	20	40	--
% Cu:1 y 2 mes	0,051	0,020	0,023	0,018	0,022	0,020	0,0206
Reducción (%Cu) = $(aAt0 - \bar{X}_{at;AT})100 \div aAt0$							59,61 %

La tabla 28 indica la cantidad de lombrices en las celdas y el reporte de los resultados del análisis de laboratorio de muestra sin tratamiento (aAt0) y de las muestras en celdas con tratamientos (at1, at2, at3, AT1, AT2, AT3) de 20, 30 y 40 lombrices en 30 y 60 días en la primera repetición del experimento, así mismo indica la media del contenido de cobre tratado, y la cuantía porcentual disminuido en promedio comparado con el resultado del contenido de cobre sin tratamiento.

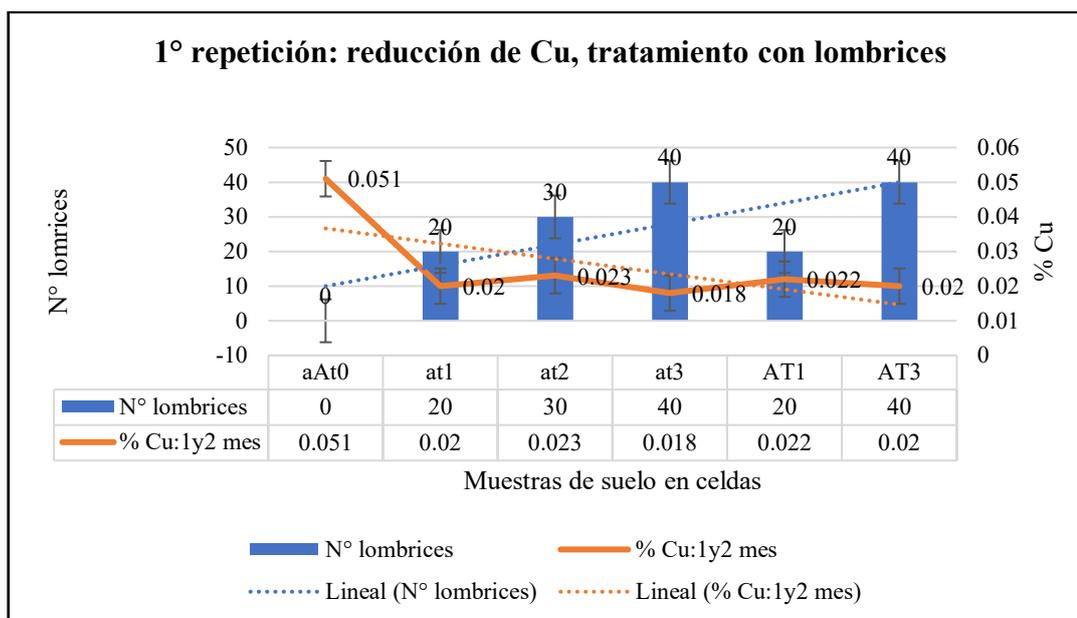


Figura 17: gráfico combinado de lombrices y cobre en primera repetición.

La figura 17 muestra el contenido de cobre sin tratamiento y describe el producto de la actividad de las lombrices en forma positiva en cada una de las muestras de pasivos

ambientales mineros ubicados en celdas de tratamiento en la tabulación del gráfico indicando los resultados del contenido de cobre, así mismo muestra la cantidad de lombrices, los gráficos del error típico estimado aproximadamente en $\pm 0,5\%$, siendo la tendencia de cobre a seguir decreciendo con cierta variabilidad en los 30 y 60 días, durante la primera repetición de la experimentación.

Tabla 29

Contenido de cobre tratados con lombrices en la segunda repetición

Muestras en celdas	bBt0	bt2	bt3	BT1	BT2	BT3	Media ($\bar{X}_{bt, BT}$)
N° de lombrices	00	30	40	20	30	40	--
% Cu: 1 y 2 mes	0,055	0,023	0,024	0,022	0,018	0,019	0,0212
Reducción (%Cu) = $(bBt0 - \bar{X}_{bt, BT})100 \div bBt0$							61,45 %

La tabla 29 muestra la cantidad de lombrices en las celdas y el reporte de los resultados de al análisis de laboratorio de la muestra sin tratamiento, así también las celdas con tratamiento (bt1, bt2, bt3, BT1, BT2, BT3) con 20, 30 y 40 lombrices en 30 y 60 días en la segunda repetición del experimento, así mismo indica la media del contenido de cobre tratado, y el porcentaje disminuido en promedio comparado con el resultado del contenido de cobre sin tratamiento.

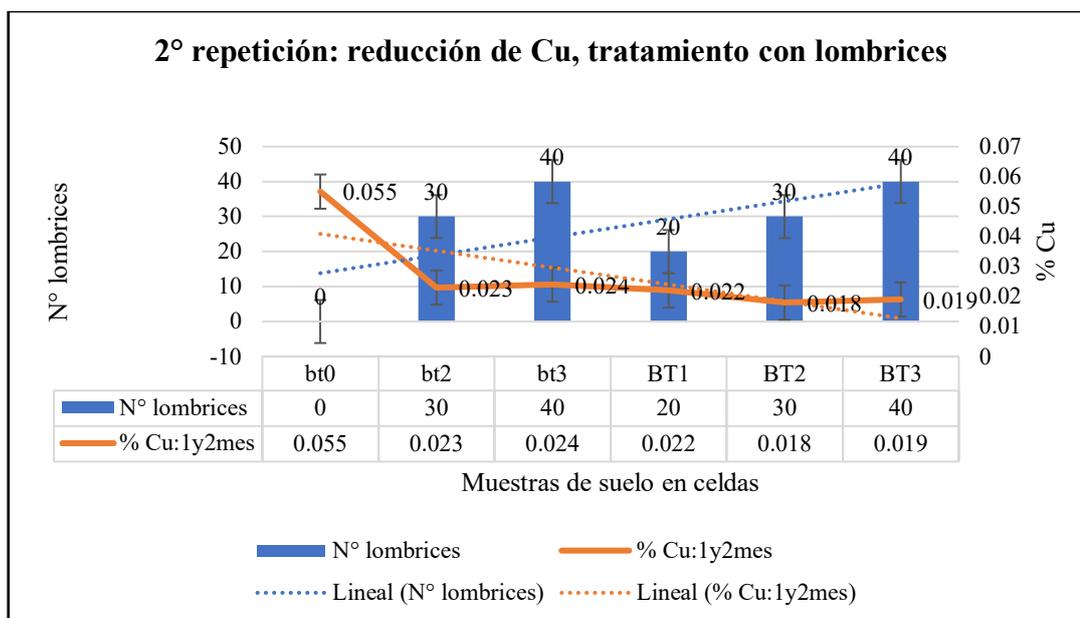


Figura 18: gráfico combinado de lombrices y cobre en segunda repetición.

La figura 18 revela el contenido de cobre sin tratamiento y la actividad favorable de los organismos que tienen habitad en el suelo como son las lombrices que ejecutan

la disminución del metal pesado como es el cobre en cada una de las muestras de pasivos mineros que han estado ubicados en celdas de tratamiento como se ve en la tabulación del gráfico indicando los resultados del contenido de cobre, así mismo está mostrando la cantidad de lombrices, los gráficos del error típico estimado aproximadamente en $\pm 0,5\%$, siendo la tendencia de cobre a seguir decreciendo con cierta regularidad en el tratamiento de los 30 días, mientras que en la experimentación de los 60 días decrece con cierta variabilidad durante la segunda repetición.

Tabla 30

Contenido de cobre tratados con lombrices en la tercera repetición

Muestras en celdas	cCt0	ct1	ct2	ct3	CT1	CT2	CT3	Media ($\bar{X}_{ct; CT}$)
N° de lombrices	00	20	30	40	20	30	40	--
% Cu:1 y 2 mes	0,048	0,027	0,024	0,023	0,019	0,023	0,030	0.03233
Reducción (%Cu) = $(cCt0 - \bar{X}_{ct; CT})100 \div cCt0$								32,64 %

La tabla 30 presenta el número de lombrices utilizados en las celdas de tratamiento (ct1, ct2, ct3, CT1, CT2, CT3) y su reporte de los resultados del análisis de laboratorio con tratamientos de 20, 30 y 40 lombrices en 30 y 60 días en la tercera repetición del experimento, y el dato sin tratamiento (cCt0), así mismo indica la media del contenido de cobre tratado, y el porcentaje disminuido en promedio comparado con el resultado del contenido de cobre sin tratamiento.

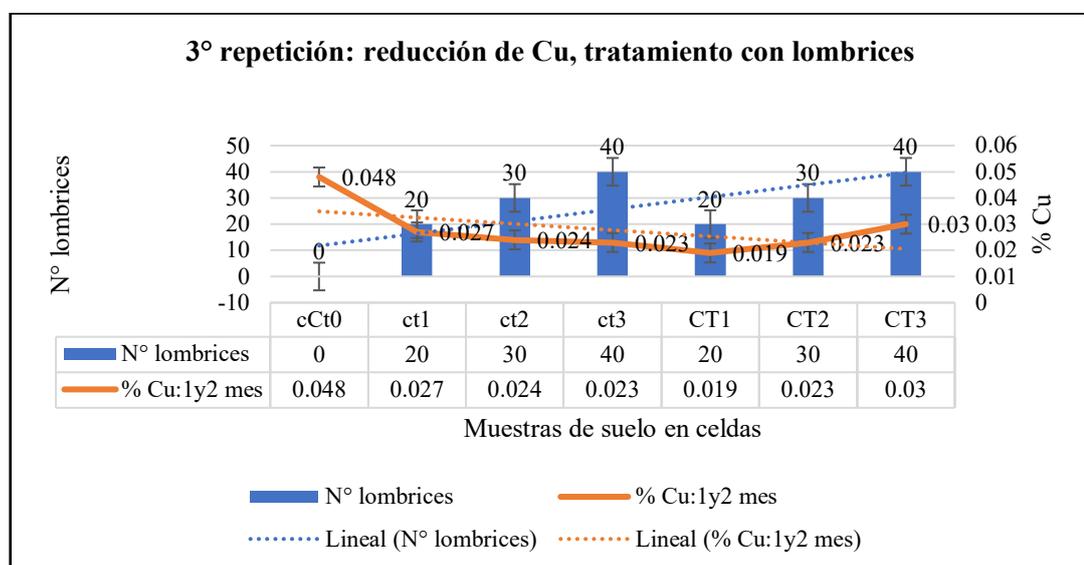


Figura 19: gráfico combinado de lombrices y cobre en tercera repetición.

La figura 19 muestra el contenido de cobre sin tratamiento y la actividad de las lombrices en forma favorable en cada una de las muestras de pasivos mineros ubicados en celdas de tratamiento del gráfico indicando los resultados del contenido de cobre, así mismo exhibe la cantidad de lombrices, los gráficos del error típico estimado en $\pm 0,5\%$, siendo la tendencia de cobre a seguir decreciendo con cierta irregularidad en los 30 días, mientras que en la experimentación de los 60 días decrece con variabilidad durante la tercera repetición del experimento.

Tabla 31

Contenido de cobre tratados con lombrices en la cuarta repetición

Muestras en celdas	dDt0	dt1	dt2	dt3	DT1	DT2	DT3	Media ($\bar{X}_{dt;DT}$)
N° de lombrices	00	20	30	40	20	30	40	--
% Cu:1 y 2 mes	0,050	0,028	0,023	0,024	0,025	0,015	0,018	0,02217
Reducción (%Cu) = $(dDt0 - \bar{X}_{dt;DT})100 \div dDt0$								55,66 %

La tabla 31 expresa la cantidad de lombrices en las celdas y el reporte de los resultados del análisis de laboratorio de las muestras con tratamiento (dt1, dt2, dt3, DT1, DT2, DT3) con 20, 30 y 40 lombrices en 30 y 60 días en la cuarta repetición del experimento, y el resultado sin tratamiento (dDt0), así también indica la media del contenido de cobre que ha sido tratado, y el grado porcentual disminuido en promedio comparado con el resultado del contenido de cobre sin tratamiento.

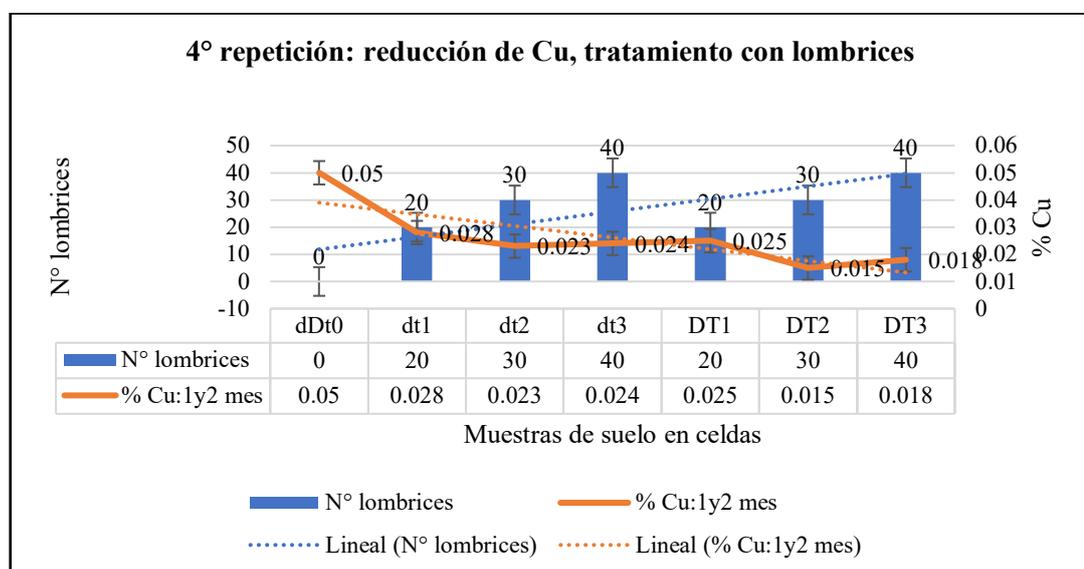


Figura 20: gráfico combinado de lombrices y cobre en cuarta repetición.

La figura 20 expone el contenido de cobre sin tratamiento y describe la actividad ejecutada por las lombrices en forma positiva en cada una de las muestras de pasivos mineros ubicados en celdas de tratamiento en la tabulación del gráfico indicando los resultados del contenido de cobre, así mismo indica la cantidad de lombrices, los gráficos del error típico estimado en $\pm 0,5\%$, donde se observa la tendencia de cobre a seguir decreciendo con cierta irregularidad en los 30 días, mientras que en los 60 días decrece con irregularidad durante la cuarta repetición del experimento.

4.3.3 Reducción de cobre (Cu) en muestras de pasivos mineros de Silluta

Concluido el análisis de los resultados de la experimentación que se realizó a nivel de laboratorio en celdas con tratamiento aplicado con la técnica del vermicompost se procedió a efectuar los cálculos y comparaciones con el reporte de análisis de laboratorio de las muestras de suelo con pasivos mineros al que se denominó muestras sin dilución cuya concentración media fue $0,1393\%$ de Cu, mientras que los resultado que se han denominado muestras de *% Cu reducido sin dilución fue de $0,1123\%$ de Cu*, que se obtuvo de la media reducida % Cu tratado en cada repetición más (+) la resta de % Cu sin dilución menos (-) el % de Cu sin tratamiento y en cada repetición, y *% de cobre (Cu) reducido fue de $0,02669\%$ de Cu*, que es el resultado de la diferencia % de Cu sin dilución menos % de Cu reducido sin dilución, esto en cada una de las repeticiones de la experimentación, a nivel de laboratorio, es decir la reducción porcentual media resultó $19,7592\%$ tomándose en cuenta que el 100% es la concentración de Cu en las muestras de con pasivos mineros de la localidad de Silluta, el cual indica que se logró positivamente el *segundo objetivo específico* planteado en el estudio, los cuales se presentan en la tabulación de los datos previamente analizados y su correspondiente gráfico expresado en un histograma, como se puede ver en la tabla 32 y figura 21.

Tabla 32

Contenido y reducción de cobre (Cu) en muestras de pasivos mineros.

Repeticiones	1° = a; A	2° = b; B	3° = c; C	4° = d; D	Media
% Cu sin dilución	0,141	0,155	0,151	0,110	0,1393
% Cu reducido sin dilución	0,1106	0,1212	0,1353	0,0822	0,1123
% Cu reducido	0,0304	0,0338	0,01567	0,02783	0,0269
Cu reducido (%)	21,5603	21,8065	10,3974	25,2727	19,7592

La tabla 32 exhibe la concentración de cobre en las muestras con pasivos mineros de la localidad de Silluta expresados en % de Cu sin dilución (*in-situ*), así mismo muestra el % de Cu reducido sin dilución de cada una de las repeticiones que realizó la experimentación, que se observa en la segunda fila de la tabla, así mismo señala la media de la concentración de cobre reducido a nivel de laboratorio, y muestra la reducción porcentual media, el cual indica que se obtiene en forma positiva el segundo objetivo específico planteado en el estudio.

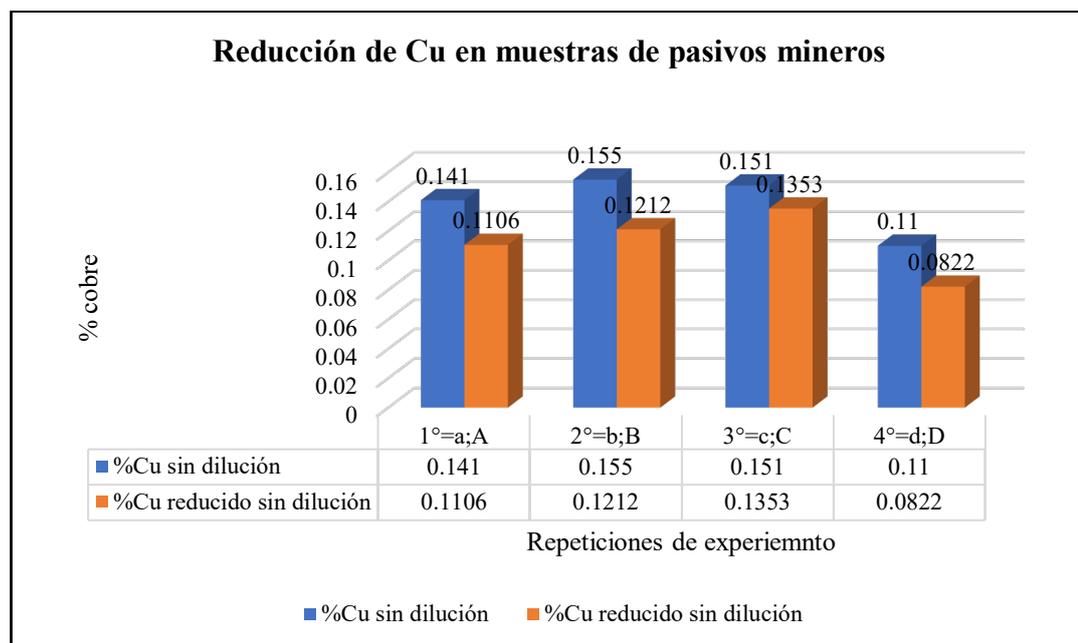


Figura 21: gráfico de reducción de cobre en muestras de pasivos mineros.

La figura 21 expresa el contenido de cobre (Cu) en las muestras no diluidas de pasivos mineros que se ven en las barras más altas, mientras que las barras de menor altura son la concentración de cobre que ha quedado sin rebajar el porcentaje de cobre en cada una de las repeticiones que se llevó a cabo el experimento aplicando la tecnología del vermicompost, el cual muestra realmente que *sí ostenta la reducción de la concentración de Cu* en las muestras de suelo de la localidad.

4.3.4 Análisis de varianza (ANOVA) para cobre (Cu)

Se realizó el análisis estadístico aplicando el modelo de análisis de varianza (ANOVA) paramétrico factorial a fin de identificar y determinar la reducción del porcentaje de cobre en las muestras de suelo en celdas con tratamiento de la tecnología del vermicompost a nivel de laboratorio en un periodo de 30 y 60 días,

por lo que se determinó los diferentes parámetros que requiere este modelo tales como: las fuentes de variación, suma de cuadrados, grados de libertad, cuadrados medios, la distribución de Fisher para el contraste de la hipótesis planteada, los cuales se pueden ver en la tabla 33.

Tabla 33

Resultados de análisis de varianza (ANOVA) para cobre (Cu)

Origen de variación	Muestras con 30 y 60 días de tratamiento				
	Suma de cuadrados (SC _{30 y 60})	Grados de libertad	Cuadrados medios (CM _{30 y 60})	F _{30 y 60}	Valor crítico para F
Entre los grupos	0,002323184; 0,002662583	3 3	0,00077439467; 0,00088752767	431,308424; 57,6258839	3,587
Dentro de los grupos	0,00001975; 0,000169417	11 11	0,00000179546; 0,00001540155		
Total	0,002342934; 0,0028320	14 14			

La tabla 31 muestra los parámetros requeridos para el análisis de varianza en el experimento de la reducción del cobre en las muestras de suelo de la mina Silluta, se encontró que el dato *at1* se descartó por ser muy disperso a los demás, por eso la suma de cuadrados para 30 días de tratamiento (SC₃₀) es de 0,002323184 y para el análisis de varianza con el tratamiento de 60 días se ha descartado el dato *AT2* por ser excesivamente disperso en comparación a los otros datos incluso al dato sin tratamiento, entonces la suma de cuadrado resultó 0,002662583, que es la variación entre los grupos (muestras), de similar forma la suma de cuadrados de error (dentro del grupo) es de 0,00001975 y 0,000169417 estas han estado dadas para un tiempo indicado; así mismo se ve que los cuadrados medios de tratamiento (CM₃₀ y CM₆₀) son de 0,00077439467 y 0,00088752767, lo mismo los cuadrados medios de error resultó 0,00000179546 y 0,00001540155 para los tratamiento de 30 y 60 días respectivamente, también muestra los valores de las distribuciones Fisher (F_{30 y 60}) y F crítico que son resultados fundamentales para la contraste de la hipótesis del estudio.

4.3.5 Prueba de hipótesis para cobre (Cu) con distribución F

En este caso se realizó los cálculos del valor crítico de la distribución $F_{\alpha, k-1, N-k}$, que es la inversa de la distribución F de cola a la derecha, a la probabilidad de 0,05, con grados de libertad (3, 11) y los valores son determinados en la tabla F; que el valor crítico (F crítico es representado en $F_{\alpha, k-1, N-k}$), cuyo resultado es de 3,587, mientras que las F calculadas ($F_0 = F_{30}$ y F_{60}) resultaron 431,308424 y 57,6258839 para los dos tratamientos del vermicompost, tal como se observa en la tabla 31.

Entonces se ha realizado la contrastación de la prueba F, donde se evaluó que *F crítico es menor que la F calculada* en ambos tratamientos, por tanto, *se rechaza la hipótesis nula (H_0)*, y se *acepta la hipótesis alternativa o de investigación*, con esta comparación se demuestra que la hipótesis planteada en el estudio *es acertada* por lo tanto la experimentación aplicando la tecnología del vermicompost con tratamientos en diferentes tiempos y las lombrices de tierra han tenido buena absorción del metal pesado como es el cobre por eso ha disminuido moderadamente su concentración en las muestras de suelo de la mina que han estado contaminados y a su vez se puede indicar que la biorremediación con vermicompost es adecuada a nivel de laboratorio para mejoramiento de los suelos contaminados con escombros mineros.

4.3.6 Comparación de medias muestrales de Cu con Método Tukey

Se realizó la comparación de las diferencias entre medias muestrales con el valor crítico encontrado aplicando el *Método de Tukey* que permite las diferencias poblacionales y muestrales con los que se tomó las decisiones para el caso de reducción de porcentajes de Cu en las muestras de suelo.

El Método de Tukey, está dada por: $T_{\alpha} = q_{\alpha}(k, N-k) \sqrt{CM_E \div n_i}$ para el cobre con tratamiento de vermicompost en 30 y 60 días ($T_{\alpha 30}$ y $T_{\alpha 60}$) resultó 0,002854084394 y 0,008359142992 respectivamente, entonces indica que las *diferencias muestrales son mayores que Método Tukey es significativo* y los menores son *no significativos*, los cuales en gran mayoría son significativos que corroboran el contraste de hipótesis que existe buena reducción del contenido del cobre en las muestras de suelo con tratamiento con lombrices es decir con la tecnología del vermicompost, las mismas se observan en la tabla 34.

Tabla 34

Diferencias de medias muestrales con el Método Tukey ($T_{\alpha 30}$ y $T_{\alpha 60}$) para cobre.

Diferencia poblacional	Diferencias muestrales (tratamientos en días)		Decisión (tratamientos en días)	
	30	60	30	60
	$\mu_1 - \mu_2$	0,013	0,029	Significativa
$\mu_1 - \mu_3$	0,028	0,032	Significativa	Significativa
$\mu_1 - \mu_4$	0,029	0,029	Significativa	Significativa
$\mu_2 - \mu_3$	0,015	0,003	Significativa	No significativa
$\mu_2 - \mu_4$	0,016	0,000	Significativa	No significativa
$\mu_3 - \mu_4$	0,001	0,003	No significativa	No significativa

La tabla 34 muestra que la determinación de *Método Tukey* permitió comparar los pares de las medias poblacionales de cobre que se nota con claridad las diferencias de las medias muestrales son significativas en gran mayoría, es decir $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ y solamente $\mu_3 = \mu_4$ que sus diferencias son *no significativa*, así también las medias muestrales en la experimentación de 60 días son significativas o sea $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ y *no significativas* $\mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ que implica hubo buena absorción por tanto se ha tenido reducción del porcentaje de cobre, y en los pares muestrales con tratamiento de vermicompost en 30 y 60 días se ha tenido la absorción del cobre por las lombrices, por lo tanto hubo reducción del porcentaje del cobre, lo que indica que la hipótesis planteada es acertada en la biorremediación con la tecnología del vermicompost.

4.3.7 Modelo experimental en disminución de porcentaje de cobre

Similar al anterior el metal pesado con el modelo experimental se ha estimado la disminución en porcentaje del cobre (Cu) con el tratamiento de la tecnología del vermicompost en tiempos de uno y dos meses (30 y 60 días), utilizándose el modelo experimental, esta expresado como: $Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + e_{ijk}$, utilizando ello se observa que los estimados estadísticos de la reducción del contenido del cobre (Cu) son similares a los resultado del Método Tukey donde las medias muestrales son significativas y no significativas de disminución de cobre en las muestras de suelo tratadas durante un mes (30 días) y de disminución de cobre con tratamiento

de 2 meses (60 días), los cuales se corroboran el objetivo y la hipótesis planteado en el estudio de suelos contaminados con pasivos mineros de Silluta, Cabanillas.

4.4 Discusión de resultados de reducción del plomo y cobre

Para obtener la reducción de los metales pesados como plomo y cobre en los suelos contaminados con pasivos mineros en la localidad de Silluta donde años atrás se aprovechó minerales comerciables económicamente tales como plomo, plata y existía otros minerales como la del cobre y otros minerales, a causa de ellos se dejó minerales triturados y escombros que forman pasivos mineros y por esta causa se contaminaron los suelos, entonces para remediarlo de alguna y otra manera se planteó una biorremediación que se llevó a cabo la experimentación a nivel de laboratorio aplicando la tecnología del vermicompost que consiste el uso de los organismos que habitan en las tierras de cultivo como son las lombrices de tierra, que son protagonistas de la remediación absorbiendo los metales que son digeridos en su proceso metabólico y al excretar devuelven al suelo como materia fértil reduciendo los contaminantes, donde en el proceso del experimento se han utilizado 20, 30 y 40 lombrices en el tratamientos de las muestras en las celdas con tiempos de 30 y 60 días, en las cuatro repeticiones, en los que se ha obtenido resultados de las mediciones de temperaturas y el potencial de hidrógeno (pH) factores complementarios para la experimentación que tuvieron tendencias muy favorables de incremento de pH en las muestras y los resultados positivos de reducción de plomo y cobre, que conducen a alcanzar los objetivos y la hipótesis planteado, razón por la cual se expresa cuantitativamente los resultados obtenidos en el estudio.

Así por ejemplo se analizó cada uno de los resultados y se abordaron según la metodología utilizada y conforme a cada repetición del experimento a fin de tener mayor validez al estudio por eso el vermicompost es una alternativa para remediar suelos degradados y se realiza la discusión con otros conocimientos previos referidos a la temática, por lo que se presentan en los siguientes acápite la comparación con otros estudios de biorremediación de suelos contaminados con metales pesados.

4.4.1 Discusión sobre reducción de plomo

La experimentación con la aplicación de la tecnología del vermicompost en las muestras de suelos con pasivos mineros mezclados con tierra de cultivo, estiércol y con lombrices ubicados en las celdas de tratamiento con 20, 30, y 40 lombrices, donde los resultados de las mediciones de factores complementarios han sido

calculadas la media de las medias que es de 8,72 °C de temperatura y la media de las medias de pH es de 6,23 que incrementó el pH y con tendencia a continuar su ascendencia, en estas condiciones se ha obtenido resultados alentadores de reducción de plomo en cada una de las cuatro repeticiones cuya media de las medias es de 53,68 % de decremento del contenido de plomo en las muestras diluidas de experimentación independientemente en cada una de las celdas que son los resultados que se han obtenido en las cuatro repeticiones (1° = a; A, 2° = b; B, 3° = c; C, y 4° = d; D) con tratamientos (t1, t2, t3 y T1, T2, T3) durante 30 y 60 días respectivamente, entonces es preciso hacer presente los conocimientos anteriores como por ejemplo al respecto, Ojeda *et al.* (2019) dice que las lombrices de tierra son indicadores de la salud de los ecosistemas, que absorben los metales pesados y son la solución para remediar suelos contaminados por jales de mina, donde agregó 40 lombrices que son los tratamientos T0, T1, T2, T3 en la que obtuvieron reducir los más altos resultados en hierro (Fe), plomo (Pb) y zinc (Zn) que los estándares internacionales, esto comparándolo, es precisamente similar la metodología y el tratamiento con lo que se aplicó la tecnología del vermicompost lo que resultó en el estudio; también en forma similar Lugo *et al.* (2017) versa que las lombrices, con estiércol y lodo residual, redujeron cobre, zinc, níquel y cadmio, con pH casi neutro, así mismo Covarrubias *et al.* (2015) dice que la toxicidad de los suelos asimilan los seres vivos, que también Rimarachin & Huaranga (2015) afirma que los relaves mineros con metales son removidos con compost y humos como cobre, arsénico, plomo zinc y otros, entonces frente a los resultados de ésta investigación y el proceso metodológico con tratamientos, creo que está en la línea muy parecida al trabajo realizado; otro ejemplo es de Puga *et al.* (2006) dice que por absorción atómica se obtiene resultados de concentración de plomo donde el pH y la profundidad del suelo muestran concentraciones del metal, a esto corrobora Bautista *et al.* (2017) que indica el más importante es el pH, materia orgánica, pedregosidad, y comparando las muestras de la experimentación con vermicompost también han sido analizados en laboratorio con el método de absorción atómica con resultados exitosos, que en resumidas cuentas son resultados muy similares al estudio que se realizó en esta oportunidad.

En concreto en esta investigación el resultado de la concentración y la reducción del plomo en muestras de suelo *in situ* denominado no diluidas en comparación con las resultados de las muestras tratados y diluidas de cada una de las repeticiones se

determinó que la concentración de plomo se redujo de la media 3,2003 % a 0,8525 % de contenido de plomo con experimentación a nivel de laboratorio, así mismo se calculó la reducción porcentual media que resultó 26,6941 % en el que, el 100 % de la concentración de Pb es considerada en las muestras con pasivos mineros de la localidad de Silluta, estos resultados se comparó con estudios anteriores como por ejemplo, con el de Garrido & Siboney (2011) que manifiesta que el contenido de metales pesados como cadmio, níquel, plomo, cobalto, zinc y otros en estos suelos se están utilizando cultivos de plantas los que han degradado moderadamente en cobalto y cobre y ya no existen plomo, cromo y zinc, que se puede presumir también la acción de las lombrices, que estos organismos se encuentran en tierras de cultivo, mientras que en el resultado del experimento si existe todavía el plomo; a este respecto Pineda & Gómez (2016) afirma que efectos nocivos de los metales pesados son absorbidos por tecnologías que involucran a los seres vivos en biotransformación a los microorganismos y las plantas; así mismo estas afirmaciones los considera por ejemplo Bernal (2014) que indica que con análisis factorial, donde la alfalfa acumula 62 % de plomo en un suelo de pH de 5,5 y además tiene la capacidad de acumulación en los tallos y raíces, y hipoteticamente podría ser también la actividad de las lombrices, mientras que en el caso del presente estudio para saber la reducción de la concentración de plomo en el suelo con pasivos mineros de la localidad se utilizó el análisis de varianza con la distribución Fisher (F), entonces al contrastar la hipótesis es aceptada la hipótesis alternativa como que se planteó en el estudio, el cual indica que se ha obtenido resultados exitosos en la investigación, por tanto se observa que no hay divergencias al comparar con otros estudios anteriores realizados en las diferentes lugares cuyos autores están referenciados en el trabajo.

En esta discusión se adhiere los resultados de los análisis de varianza y la utilización del Método Tukey que indica las diferencias de las medias muestrales que corroboran los resultados de reducción del contenido de plomo en las muestras de suelo, entonces se contrasta estos resultados con los que versa Bernal (2014), así mismo se aproxima la versión de Orellana & Gómez (2015) que dice que, las concentraciones de plomo son riesgo ambiental promedio estimado de 78 % que es moderado para la salud de la población, entonces la concentración de plomo que están presentes en el suelo tiene una toxicidad, peligrosa en volúmenes que sobrepasan los estándares de calidad ambiental, razón por la cual se realizó el estudio.

4.4.2 Discusión sobre reducción de cobre

La discusión en lo que respecta al experimento de la reducción de cobre utilizando la técnica del vermicompost se realizó en las muestras en suelos con pasivos mineros con el mismo procedimiento del caso anterior ya que la cantidad de las lombrices y la muestras son el mismo con la diferencia de que en esta oportunidad se discute los resultados que se ha obtenido para el cobre, donde las mediciones de factores complementarios de temperatura y el pH son los mismos, por tanto se observa que hay incremento de pH y la tendencia es en ascendencia, en estas condiciones se obtuvo resultados positivos de reducción de cobre en cada una de las cuatro repeticiones cuya media de las medias es de 52,34 % de disminución del contenido de cobre en las muestras diluidas de experimentación de las celdas que son los resultados que se han obtenido en las cuatro repeticiones (1° = a; A, 2° = b; B, 3° = c; C, y 4° = d; D) con tratamientos (t1, t2, t3 y T1, T2, T3) durante 30 y 60 días respectivamente, entonces en función a estos resultados es preciso comparar con conocimientos anteriores como por ejemplo al respecto, Lugo *et al.* (2017) indica que se debe probar la mezcla de lodo residual, con estiércol de equino en diferentes proporciones, y con el vermicompost se pueda mejorar el suelo entonces la concentración del cobre en un pH de 7,24 se redujo el cobre mientras el fosforo incremento fuerte, al respecto es similar con el tratamiento en el presente estudio; otro ejemplo se tiene que Montenegro *et al.* (2009) versa que al norte de Chile, la concentración en mayor cantidad es el cobre que fue de 375,1 mg kg⁻¹ y no indica la remediación del suelo, frente a este problema, una de las alternativas de mejora del suelo podría proponerse la utilización de las lombrices, y en este estudio resultó positivamente el tratamiento con lombrices de tierra.

El resultado de la investigación para las muestras de suelo con pasivos mineros de la localidad de Silluta al que se le llamó muestras sin dilución, son comparados con los resultados que se han denominado muestras de % Cu reducido sin dilución, esto en cada una de las repeticiones de la experimentación de tal modo se ha obtenido la media de la concentración de cobre que se ha reducido de 0,1393 % a 0,0269 % en experimentación a nivel de laboratorio, entonces la reducción porcentual media resultó 19,7592 % siendo el 100 % la concentración de Cu en las muestras con pasivos mineros de la localidad de Silluta, teniendo estos resultados, es preciso comparar con investigaciones anteriores como por ejemplo se tiene a Mahecha *et al.* (2015) donde indica que los fertilizantes y plaguicidas son los que generan los



metales pesados en la que se encontro concentraciones de cobre, zinc, plomo, niquel, y otros que han sido utilizados en lugares agrícolas, si esto ocurre, entonces a simple lógica la contracción de los metales pesados en suelos con pasivos mineros es obvio pensar las contraciones son altos como en éste caso que se realizó el estudio y lo fundamental es mejorar este tipo de suelos, asi por ejemplo Garrido & Siboney (2011) afirma que al estudiar el suelo de la mina antigua de manganeso Cristo-Barrancas en sus alrededores se ha encontrado metales pesados como cadmio, plomo, zinc, cobre y otros donde al hacer cultivos de plantas y se han obtenido una disminución moderada de cobre, cadmio y cobalto, entonces se presume tambien que puede ser por la actividad de los organismos que habitan en las tierras de cultivo, comparando con los resultados del experimento con vermicompost, efectivamente la actividad de las lombrices es muy aceptable; por otra parte en presente estudio se indica que los resultados de los analisis de varianza y la utilización del Metodo Tukey indica las diferencias de la medias muestrales corroboran los resultados de reducción del contenido de cobre.



CONCLUSIONES

1. La concentración de plomo en las muestras de suelo *in situ* (no diluidas) se ha determinado en un promedio de 3,3003 % de Pb, mientras que en las muestras tratadas y diluidas resultó un promedio de 2,3478 % de Pb, entonces se percibe que el contenido del metal pesado bajó en un promedio de 0,8525 % de plomo, que representa una reducción porcentual media de 26,6941 % e implica que es factible la biorremediación aplicando la tecnología del vermicompost.
2. El contenido de cobre en las muestras de suelo con pasivos mineros resultó una media de 0,1393 % de Cu, mientras que con el proceso de tratamiento en la experimentación del vermicompost ha resultado una media de 0,1123 %, que muestra una reducción real de 0,0269 % de Cu, que representa una reducción porcentual media de 19,7592 % demostrando que ha sido acertada la metodología aplicada en la investigación de la concentración del metal pesado en el suelo de la localidad.



RECOMENDACIONES

1. Considerando los logros expresados de reducción de la concentración de plomo en las muestras de suelo y con tratamientos del proceso de vermicompost, se exhorta realizar investigación de la concentración de iones de plomo en las aguas que drenan desde las excavaciones subterráneas hasta en la superficie del suelo estudiado, que probablemente pueda contener el metal pesado producto de la lixiviación de los minerales.
2. Apreciando el efecto fructífero de técnica del vermicompost en la reducción del contenido de cobre en las muestras de suelo estudiadas, se aconseja ejecutar estudios de la concentración de otros metales pesados como arsénico, cadmio y otros en muestras de suelo y aguas del lugar estudiado, como también de otros sitios con pasivos mineros con características similares.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcalá, J., Ávila, C., Rodríguez, J. C., Hernández, A., Beltrán, F. A., Rodríguez, H., & Ramírez, J. G. (2012). Metales pesados como indicador de impacto de un sistema ecológico fragmentado por usos de suelo, San Luis Potosí, México. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 44(2), 15-29.
<https://www.redalyc.org/pdf/3828/382837651022.pdf>
- Amigos de la tierra (2019). *Manual básico para hacer Vermicompost*. Agenda 21, Ayuntamiento de San Sebastián de los Reyes.
http://www.compostaenred.org/documentacion/Manuales/2Manual_Vermicompostaje_SanSebastiandelosReyes.pdf
- Amigos de la tierra (s/f). *Manual de vermicompostaje*. LGNS, Ayuntamiento de Leganés.
<https://docplayer.es/32480495-Manual-vermicompostaje-amigos-de-la-tierra.html>
- Bautista, F. (2017). *Suelos, ambiente y algo más*. Ciudad de México: Skiu.
<https://actswithscience.com/Descargas/Libro%20suelos,%20ambiente%20y%20algo%20m%C3%A1s.pdf>
- Bautista, F., Campuzano, E., Delgado, C., & Goguitchaichvili, A. (2017). Índices de sorción de metales pesados en suelos urbanos: el caso de Morelia, Michoacán. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 69(2), 433-445.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94352452007>
- Belmonte, F., Romero, A., & Moreno, J. (2010). Contaminación ambiental por estériles mineros en un espacio turístico en desarrollo, La Sierra Minera de Cartagena-La Unión. *Cuadernos de Turismo*, (25), 11-24.
<https://revistas.um.es/turismo/article/view/109551/104141>
- Beltrán M. E., & Gómez, A. M. (2016). Biorremediación de Metales Pesados Cadmio (Cd), Cromo (Cr) y Mercurio (Hg) Mecanismos Bioquímicos e Ingeniería Genética: Una Revisión. *Revista de Ciencias Básicas*, 12(2), 172-197.
<http://dx.doi.org/10.18359/rfcb.2027>
- Bernal, A. A. (2014). Phyto-remediation in soils restoration: a general vision. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 5(2), 245-258. DOI: 5590911. [Dialnet-FitorremediacionEnLaRecuperacionDeSuelos-5590911.pdf](#)

- Bernal, C. R., & Boshell, L. S. (2014). Remediación de suelos contaminados con plomo (II) por fitotecnologías correctivas-*Medicago sativa* L.(Alfalfa). *Revista de Investigación*, 7(2), 27-40. DOI: <https://doi.org/10.29097/2011-639X.169>
<https://revistas.uamerica.edu.co/index.php/rinv/article/view/169/165>
- Boullosa, N. (2010). *Biorremediación: lombrices que eliminan tóxicos y más*. fair companies. <https://faircompanies.com/articles/biorremediacion-lombrices-que-eliminam-toxicos-y-mas/#:~:text=En%20el%20estudio%2C%20las%20lombrices,de%20la%20citada%20universidad%20venezolana>.
- Brutti, L., Beltrán, M., & García de Salamone, I. (2018). *Biorremediación de recursos naturales*. Buenos Aires: Ediciones INTA, 1a. edición. Instituto de Suelos, Centro de Investigación de Recursos Naturales Hurlingham.
https://inta.gov.ar/sites/default/files/libro_biorremediacion_de_los_recursos_naturales_1.pdf
- Burger, M., & Pose, D. (2010). *Plomo salud y ambiente - experiencia en Uruguay*. Montevideo, Uruguay: Universidad de la República.
<https://www.paho.org/uru/dmdocuments/plomo%20salud%20y%20ambiente.pdf>
- Chávez, M. (2015). *Los pasivos ambientales: diagnóstico y propuestas*. Pasco: Muqui, Red de propuesta y acción. Centro Cultural Popular Labor.
<https://muqui.org/wp-content/uploads/2019/11/pasivosambientales2015.pdf>
- Covarrubias, A., García, J. A., & Peña, J. J. (2015). El papel de los microorganismos en la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados. *Acta Universitaria*, 25(3), 40-45. DOI: 41648311004.
<https://www.redalyc.org/pdf/416/41648311004.pdf>
- Delince, W., Valdés, R., López, O., Guridi, F., & Balbín, M. I. (2015). Riesgo agroambiental por metales pesados en suelos con Cultivares de *Oryza sativa* L y *Solanum tuberosum* L. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 24, núm. 1, pp. 44-50.
DOI: 93233771006. <https://www.redalyc.org/pdf/932/93233771006.pdf>
- García, R. (2011). *Suelos contaminados por la minería con recuperados con plantas*. Chile: FONDEF.
<https://www.conicyt.cl/fondef/2011/03/12/suelos-contaminados-por-la-mineria-son-recuperados-con-plantas/>

- Garrido, B., & Siboney, P. (2011). Evaluación de metales pesados en los suelos del coto minero manganesífero Cristo –Barrancas. *Minería y Geología*, 27(3), 43-57.
DOI: 223522423003. <https://www.redalyc.org/pdf/2235/223522423003.pdf>
- Guerrero, M. E., & Pineda, V. (2016). Contaminación del suelo en la zona minera de Rasgatá bajo (TAUSA). Modelo conceptual. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 26(1), 57-74. DOI: 91145342005.
<https://www.redalyc.org/pdf/911/91145342005.pdf>
- Huaranga, F., Méndez, E., Quilcat, V., & Huaranga, F. (2012). Contaminación por metales pesados en la Cuenca del Río Moche, 1980 – 2010, La Libertad – Perú. *Scientia Agropecuaria*, (3), 235 – 247.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=357633703005>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2016). *Metodología de valoración económica del daño al medio ambiente por contingencias del sector minero*. Secretaria de medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/199520/3_CGCV_2016_Metodologia_de_valoracion_contingencias_sector_minero_CDMEX.pdf
- Leoni, A. J. (2015). *Propiedades físicas de los suelos*. Capítulo I.
<http://ingenieroleoni.com/wp-content/uploads/2015/09/Capitulo-1-Propiedades-Fisicas-de-los-suelos.pdf>
- López, R. (2002). *Degradación del suelo causa, procesos, evaluación e investigación*. Mérida, Venezuela: Impreso en los Talleres Gráficos del CIDIAT.
<http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/degradacion/pfd/librocompleto.pdf>
- Lugo, J., Del Águila, P., Vaca, R., Casa, I., & Yáñez, G. (2017). Abono orgánico elaborado con lodo residual y estiércol equino a través de vermicomposteo: una propuesta como mejorador de suelos. *Revista Int. Contaminación Ambiental*, 33(3), 475-484. DOI: 10.20937/RICA.2017.33.03.10
<https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2017.33.03.10/46703>
- Mahecha, J. D., Trujillo, J. M., & Torres, M. A. (2015). Contenido de metales pesados en suelos agrícolas de la región del Ariari, Departamento del Meta. *Orinoquia*, 19(1), 118-122. DOI: 89640816011.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=89640816011>
- Martínez, A. (1988). *Diseños experimentales: métodos y elementos de teoría*. México: Editorial Trillas.

<https://dama.umh.es/discovery/fulldisplay/alma991000060979706331/34CVA>
[UMH:VU1](#)

- Masín, C. (2018). *Lombrices de tierra vs. contaminantes en suelos*. Santa Fe: CONICET.
<https://www.conicet.gov.ar/lombrices-de-tierra-vs-contaminantes-en-suelos/>
- Melgar, R., & Fernández, M. M. (2012). *Recomendaciones para elaborar compost y vermicompost a partir de restos vegetales*. Andalucía: Edita junta Andalucía.
<file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Recomendaciones%20para%20elaborar%20compost%20y%20vermicompost%20a%20partir%20de%20restos%20vegetales.pdf>
- Menjívar, J. C., Díez, M., Aguilar, J., Martín, F., & García, I. (2009). Estudio de metales pesados y arsénico en los suelos de olivar de Sierra Mágina, Jaén (España). *Acta Agronómica*, 58(4), 303-307. DOI: 169916220011.
<https://www.redalyc.org/pdf/1699/169916220011.pdf>
- Mikolic, C., Ruffimelli, S., Dárdano, B., Escudero, J. G., Andreoni, I., Gómez, A., & Basile, D. (2018). *Manual de vermicompostaje, cómo reciclar nuestros residuos orgánicos*. Montevideo.
<https://montevideo.gub.uy/sites/default/files/biblioteca/imvermicompostajeinterior.pdf>
- Montenegro, G., Fredes, C., Mejías, E., Bonomelli, & C., Olivares, L. (2009). Contenidos de metales pesados en suelos cercanos a un relave cuprífero chileno *Agrociencia*, 43(4), 427-435. DOI: 30211257009.
<https://www.redalyc.org/pdf/302/30211257009.pdf>
- Naturland (2018). *Vermicompost, un abono de alta calidad para mejorar la fertilidad del suelo*. Información para los productores. Naturland Internacionales.
https://nanopdf.com/download/vermicompost_pdf
- Ojeda, J. H., Franco, M. O., & Rodríguez, G. (2019). Absorción de metales pesados por la lombriz *Eisenia Foetida* de los jales de mina de oro en Mocorito, Sinaloa, México. *Revista México poster*.
<https://aidisnet.org/wp-content/uploads/2019/07/219-Mexico-Poster.pdf>
- Orellana, E., & Gómez G. C. (2015). Riesgo ambiental por pasivo relaves de la ex planta metalúrgica Yauris, Huancayo. *Revista Convicciones*, 26-35. DOI: 191-752-1-PB.
<https://revistas.uncp.edu.pe/index.php/convicciones/article/view/102/110>
- Ortiz, I., Sanz, J., Dorado, M., & Villar, S. (2007). *Técnicas de recuperación de suelos contaminados*. Universidad de Alcalá. Madrid: Impresión Elecé Industria Gráfica.
<http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM001700.pdf>

- Paz, M., & Larraín, S. (2004). *Impactos ambientales en Chile: desafíos para la sustentabilidad*. Chile: Primera Edición.
https://www.researchgate.net/publication/327211987_Impactos_ambientales_en_Chile_Desafios_para_la_sustentabilidad
- Pineda, M. E., & Gómez, A.M. (2016). Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg) mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: una revisión. *Universidad Militar Nueva Granada, 12*(2), 172-197.
DOI: <http://dx.doi.org/10.18359/rfcb.2027>
- Pizarro, R., Flores, J. P., Tapia, J., Valdés, R., González, D., Morales, C., Sanguesa, C., Balochii, F., & León, L. (2016). Forest species in the recovery of soils contaminated with copper due to mining activities. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente, 22*(1), 29-43
<http://dx.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.06.026>
- 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), 149-155. DOI: 34150220.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=34150220>
- Regalado, I., Leiseca, A., Cabrera, Y., Franco, F., & Bulnes, C. (2014). Cambios anatómicos en la especie *Cynodon nlemfuensis* Vanderhyst en suelos contaminados por metales pesados. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 23*(4), 37-42. DOI: 9323161007. <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v23n4/rcta07414.pdf>
- Relaves mineros amenazan al río Rímac en la sierra limeña (11 de mayo de 2014). *El Comercio*, Redacción RC 8:45 pm. <https://elcomercio.pe/lima/relaves-mineros-amenazan-rio-rimac-sierra-limena-318874-noticia/>
- Rimarachin, P. & Huaranga, F. (2015). Tratamiento de aguas de efluentes minero – metalúrgicos utilizando, métodos pasivos y activos en sistemas experimentales. *Revista Sciendo 18*(2), 20-29.
<https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/SCIENDO/article/view/1352>
<https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/SCIENDO/article/view/1352/1381>
- Rodríguez, A., Bardos, P., Cundy, A., Hall, E., Hutchings, T., Kovalick, W., Leij, F., Leij, R., Maco, B. & Rodríguez, Á. (2017). *Estrategias para la rehabilitación de tierras mineras contaminadas con mercurio para su reutilización en energía renovable y otras estrategias de reutilización autosostenibles*. Colombia: Environmental Technology Colombia SAS.

https://www.academia.edu/38319782/Rehabilitacion_de_tierras_contaminadas_con_mercurio

Rojas, A., Vázquez, J. M., Romero, N., Rodríguez, M. Á., Toribio, J., & Romero, Y. (2016). Evaluación de compost con presencia de metales pesados en el crecimiento de *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(8), 2047-2054.

<https://www.redalyc.org/pdf/2631/263149505021.pdf>

Rucks, L., Garcia, F., Kapián, A, Ponce de León, J. & Hill, M. (2004). *Propiedades físicas del suelo*. Montevideo, Uruguay: Facultad de agronomía, Universidad de la República.

<http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>

Sánchez, J. & Velis, S. A. (2009). *Control de la degradación de los suelos y cambio global*. Valencia: Edición de Juan Sánchez Díaz – Sabina Asins Velis.

<https://www.secs.com.es/wp-content/uploads/2018/02/Libro-de-actas-IV-Simposio-CDSCG.pdf>

Sarria, M. M., Cortés, L. E., & Peinado, J. M. (2015). Evaluación de la recuperación de suelos contaminados por el vertido de Aznalcóllar. *Acta Agronómica*, 64(2), 156-164. DOI: 169933767007.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169933767007>

Serrano, V., & Borri, T. (2007). *Perspectiva ambiental 41: lombrices trabajando*. Barcelona: Edición Fundación Tierra.

https://www.fundaciontierra.es/sites/default/files/web_antiga/es/data/pa41e.pdf

SINC (2017). *Como usar residuos para disminuir metales en suelos contaminados*. Comunidad de Madrid: UAM.

<https://www.agenciasinc.es/Noticias/Como-usar-residuos-para-disminuir-metales-en-suelos-contaminados>

Torres, J. C. (2005). *Cobre, medio ambiente y salud aportes a la ciencia*. Chile: Editado Instituto de Innovación en Minería y Metalurgia, IM2.

https://www.codelco.com/prontus_codelco/site/artic/20110222/asocfile/2011022213251/cobre.pdf

Vargas, R.G., Romero, E., & Fernández, M.J. (2014). *Vermicompostaje: procesos, productos y aplicaciones. De residuo a recurso, III 5*. España: Ediciones Mundi-Prensa. ISBN: 978-84-8476-693-3.

<https://www.mundiprensa.com/catalogo/9788484766933/vermicompostaje--procesos--productos-y-aplicaciones-iii-5>



- Vermican (2019). *Manual de vermicompostaje*. Soluciones de compostaje gestión ecológica de residuos orgánicos.
<https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/campus/doc/htmls/sostenibilidad/ManualVermicompostaje.pdf>
- Volke, T., Velasco, J. A., & De la Rosa, D. A. (2005). *Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación*. México: secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
[https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/B1E761B1E2F24A5C05257D490070F94F/\\$FILE/SuelosContaminadosPorMetalesYMetaloides.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/B1E761B1E2F24A5C05257D490070F94F/$FILE/SuelosContaminadosPorMetalesYMetaloides.pdf)
- Zorrilla, C. (2013). *La minería de cobre y sus impactos en el Ecuador*. Ecuador: Salva la selva. <https://www.salvalaselva.org/exitos-y-noticias/5066/la-mineria-de-cobre-y-sus-impactos-en-el-ecuador#:~:text=Este%20consumo%20masivo%20de%20cobre,se%20oponen%20a%20las%20minas5>.



ANEXOS

ANEXO 1

PROCESO DE MUESTREO DE MINERALES TRITURADOS, MINA SILLUTA



ANEXO 2

TÉCNICA DEL CUARTEO PARA OBTENER MUESTRA NECESARIA, MINA SILLUTA



ANEXO 3

PREPARACIÓN Y COLOCADO DE MUESTRAS EN LAS CELDAS DE EXPERIMENTACIÓN DE VERMICOMPOST



ANEXO 4

CELDA EN PROCESO DE TRATAMIENTO DEL VERMICOMPOST DE 30 Y 60 DÍAS



ANEXO 5

PREPARACIÓN Y EMBOLSADO DE MUESTRAS TRATADAS PARA ANÁLISIS EN LABORATORIO



ANEXO 6

HOJA DE DATOS PARA ANÁLISIS DE LABORATORIO 23-02-2022

Hoja de datos

Señores: ESTEBAN MARIN PAUCARA

Dirección: PUNO

Atención: ESTEBAN MARIN PAUCARA

Proyecto: **TECNOLOGÍA DEL VERMICOMPOST EN LA REDUCCIÓN DE PLOMO Y COBRE DE SUELOS CON PASIVOS MINEROS EN SILLUTA CABANILLAS – PUNO, PERÚ**

Producto(s)

Declarado(s): Sedimento

Nro de muestras:

Muestreo a cargo de(l): **ESTEBAN MARÍN PAUCARA (muestras con tratamiento, e in-situ)**

Registro de muestreo: 004-22

Fecha de recepción: 23/02/2022

Fecha de ensayo: 23/02/2022

Fecha de emisión: 25/02/2022

Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas

Observaciones:

ones: ----

Método de ensayo aplicado

*7109 Método de Ensayo para Plomo - Absorción Atómica en suelos y sedimentos

*7113 Método de Ensayo para Cobre Total - Absorción Atómica en suelos y sedimentos

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
SD220000 6	at1	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO	388954 E; 8249762 N	26/04/20	10:00 a.m.
SD220000 7	AT1	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO	388954 E; 8249762 N	25/05/20	10:00 a.m.
SD220000 8	STA	SILLUTA / CABANILLAS / SAN ROMAN / PUNO	354732 E; 8268376 N	20/03/20	11.00 a.m.

ANEXO 7

HOJA DE DATOS PARA ANÁLISIS DE LABORATORIO 18-03-2022

Señores: ESTEBAN MARIN PAUCARA
 Dirección: PUNO
 Atención: ESTEBAN MARIN PAUCARA
 Proyecto: **TECNOLOGÍA DEL VERMICOMPOST EN LA REDUCCIÓN DE PLOMO Y COBRE DE SUELOS CON PASIVOS MINEROS EN SILLUTA CABANILLAS – PUNO, PERÚ**

Producto(s) Declarado(s): Suelo
 Nro de muestras: #
 Muestreo a cargo de(l): ESTEBAN MARÍN PAUCARA (muestras con tratamiento, e in-situ)
 Registro de muestreo:
 Fecha de recepción: 18/03/2022
 Fecha de ensayo: 18/03/2022
 Fecha de emisión:
 Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas
 Observaciones: ----

Método de ensayo aplicado

*7109 Método de Ensayo para Plomo - Absorción Atómica en suelos y sedimentos

*7113 Método de Ensayo para Cobre Total - Absorción Atómica en suelos y sedimentos

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	*7109 Pb %	*7113 Cu %
SD2200012	AT2	Barrio Virgen de Rosario / PUNO / PUNO / PUNO (tratamiento)	388954 E; 8249762 N	25/05/20	10:00 a.m.		
SD2200013	AT3	Barrio Virgen de Rosario / PUNO / PUNO / PUNO (tratamiento)	388954 E; 8249762 N	25/05/20	10:00 a.m.		
SD2200014	at2	Barrio Virgen de Rosario / PUNO / PUNO / PUNO (tratamiento)	388954 E; 8249762 N	26/04/20	10:00 a.m.		
SD2200015	at3	Barrio Virgen de Rosario / PUNO / PUNO / PUNO (tratamiento)	388954 E; 8249762 N	26/04/20	10:00 a.m.		
SD2200016	BT1	Barrio Virgen de Rosario / PUNO / PUNO / PUNO (tratamiento)	388954 E; 8249762 N	25/05/20	10:00 a.m.		
SD2200017	BT2	Barrio Virgen de Rosario / PUNO / PUNO / PUNO (tratamiento)	388954 E; 8249762 N	25/05/20	10:00 a.m.		
SD2200018	BT3	Barrio Virgen de Rosario / PUNO / PUNO / PUNO (tratamiento)	388954 E; 8249762 N	25/05/20	10:00 a.m.		
SD2200019	bt1	Barrio Virgen de Rosario / PUNO / PUNO / PUNO (tratamiento)	388954 E; 8249762 N	26/04/20	10:00 a.m.		
SD2200020	bt2	Barrio Virgen de Rosario / PUNO / PUNO / PUNO (tratamiento)	388954 E; 8249762 N	26/04/20	10:00 a.m.		



SD2200021	bt3	Barrio Virgen de Rosario / PUNO / PUNO / PUNO (tratamiento)	388954 E; 8249762 N	26/04/20	10:00 a.m.		
SD2200022	CT1	Barrio Virgen de Rosario / PUNO / PUNO / PUNO (tratamiento)	388954 E; 8249762 N	25/05/20	10:00 a.m.		
SD2200023	CT2	Barrio Virgen de Rosario / PUNO / PUNO / PUNO (tratamiento)	388954 E; 8249762 N	25/05/20	10:00 a.m.		
SD2200024	CT3	Barrio Virgen de Rosario / PUNO / PUNO / PUNO (tratamiento)	388954 E; 8249762 N	25/05/20	10:00 a.m.		
SD2200025	ct1	Barrio Virgen de Rosario / PUNO / PUNO / PUNO (tratamiento)	388954 E; 8249762 N	26/04/20	10:00 a.m.		
SD2200026	ct2	Barrio Virgen de Rosario / PUNO / PUNO / PUNO (tratamiento)	388954 E; 8249762 N	26/04/20	10:00 a.m.		
SD2200027	ct3	Barrio Virgen de Rosario / PUNO / PUNO / PUNO (tratamiento)	388954 E; 8249762 N	26/04/20	10:00 a.m.		
SD2200028	STC	SILLUTA / CABANILLAS / SAN ROMAN / PUNO (in-situ)	354732 E; 8268376 N	20/03/20	11:00 a.m.		
SD2200029	STB	SILLUTA / CABANILLAS / SAN ROMAN / PUNO (in-situ)	354732 E; 8268376 N	20/03/20	11:00 a.m.		

ANEXO 8

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-22-00005



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-22-00005

Pág: 1/1

Señores: ESTEBAN MARIN PAUCARA
Dirección: PUNO
Atención: ESTEBAN MARIN PAUCARA
Proyecto: TECNOLOGÍA DEL VERMICOMPOST EN LA REDUCCIÓN DE PLOMO Y COBRE DE SUELOS CON PASIVOS MINEROS EN SILLUTA CABANILLAS – PUNO, PERÚ

Producto(s) Declarado(s): Sedimento
Nro de muestras: 3
Muestreo a cargo de(l): ESTEBAN MARÍN PAUCARA (muestras con tratamiento, e in-situ)
Registro de muestreo: 004-22
Fecha de recepción: 23/02/2022
Fecha de ensayo: 23/02/2022
Fecha de emisión: 9/03/2022
Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas
Observaciones -----

Metodo de ensayo aplicado

*7109 Método de Ensayo para Plomo - Absorción Atómica en suelos y sedimentos
*7113 Método de Ensayo para Cobre Total - Absorción Atómica en suelos y sedimentos

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	*7109 Pb %	*7113 Cu %
SD2200006	at1	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO	388954 E; 8249762 N	26/04/20	10:00 a. m.	0,410	0,020
SD2200007	AT1	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO	388954 E; 8249762 N	25/05/20	10:00 a. m.	0,388	0,022
SD2200008	STA	SILLUTA / CABANILLAS / SAN ROMAN / PUNO	354732 E; 8268376 N	20/03/20	11:00 a. m.	3,465	0,141

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CIF 11442F

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Límite de detección del método, "<Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582

ANEXO 9

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-22-0006



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-22-0006

Pág: 1/2

Señores: ESTEBAN MARIN PAUCARA
Dirección: PUNO
Atención: ESTEBAN MARIN PAUCARA
Proyecto: TECNOLOGÍA DEL VERMICOMPOST EN LA REDUCCIÓN DE PLOMO Y COBRE DE SUELOS CON PASIVOS MINEROS EN SILLUTA CABANILLAS – PUNO, PERÚ

Producto(s) Declarado(s): Suelo
Nro de muestras: 18
Muestreo a cargo de(l): ESTEBAN MARIN PAUCARA (muestras con tratamiento, e in-situ)
Registro de muestreo: 006-22
Fecha de recepción: 18/03/2022
Fecha de ensayo: 18/03/2022
Fecha de emisión: 19/03/2022
Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas
Observaciones -----

Metodo de ensayo aplicado

*7109 Método de Ensayo para Plomo - Absorción Atómica en suelos y sedimentos
*7113 Método de Ensayo para Cobre Total - Absorción Atómica en suelos y sedimentos

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	*7109 Pb %	*7113 Cu %
SD2200012	AT2	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO (TRATAMIENTO)	388954 E; 8249762 N	25/05/20	10:00 AM	0,355	0,170
SD2200013	AT3	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO (TRATAMIENTO)	388954 E; 8249762 N	25/05/20	10:00 AM	0,368	0,020
SD2200014	at2	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO (TRATAMIENTO)	388954 E; 8249762 N	26/04/20	10:00 AM	0,410	0,023
SD2200015	at3	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO (TRATAMIENTO)	388954 E; 8249762 N	26/04/20	10:00 AM	0,380	0,018
SD2200016	BT1	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO (TRATAMIENTO)	388954 E; 8249762 N	25/05/20	10:00 AM	0,414	0,022
SD2200017	BT2	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO (TRATAMIENTO)	388954 E; 8249762 N	25/05/20	10:00 AM	0,399	0,018
SD2200018	BT3	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO (TRATAMIENTO)	388954 E; 8249762 N	25/05/20	10:00 AM	0,421	0,019
SD2200019	bt1	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO (TRATAMIENTO)	388954 E; 8249762 N	26/04/20	10:00 AM	0,463	0,076
SD2200020	bt2	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO (TRATAMIENTO)	388954 E; 8249762 N	26/04/20	10:00 AM	0,567	0,023
SD2200021	bt3	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO (TRATAMIENTO)	388954 E; 8249762 N	26/04/20	10:00 AM	0,543	0,024

[Firma]
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.A.R.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Quirico C.A.P. 19499

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-04.
*«Valor numérico»=Límite de detección del método, *«Valor Numérico»=Límite de cuantificación del método
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado de sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier emienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-22-0006

Pág: 2/2

Señores: ESTEBAN MARIN PAUCARA
Dirección: PUNO
Atención: ESTEBAN MARIN PAUCARA
Proyecto: TECNOLOGÍA DEL VERMICOMPOST EN LA REDUCCIÓN DE PLOMO Y COBRE DE SUELOS CON PASIVOS MINEROS EN SILLUTA CABANILLAS – PUNO, PERÚ

Producto(s) Declarado(s): Suelo
Nro de muestras: 18
Muestreo a cargo de(l): ESTEBAN MARIN PAUCARA (muestras con tratamiento, e in-situ)
Registro de muestreo: 006-22
Fecha de recepción: 18/03/2022
Fecha de ensayo: 18/03/2022
Fecha de emisión: 19/03/2022
Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas
Observaciones -----

Método de ensayo aplicado

*7109 Método de Ensayo para Plomo - Absorción Atómica en suelos y sedimentos
*7113 Método de Ensayo para Cobre Total - Absorción Atómica en suelos y sedimentos

Cod Int. #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist. / Prov. / Depart.	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	*7109 Pb %	*7113 Cu %
SD2200022	CT1	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO (TRATAMIENTO)	388954 E; 8249762 N	25/05/20	10:00 AM	0,399	0,019
SD2200023	CT2	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO (TRATAMIENTO)	388954 E; 8249762 N	25/05/20	10:00 AM	0,364	0,023
SD2200024	CT3	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO (TRATAMIENTO)	388954 E; 8249762 N	25/05/20	10:00 AM	0,370	0,030
SD2200025	ct1	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO (TRATAMIENTO)	388954 E; 8249762 N	26/04/20	10:00 AM	0,446	0,027
SD2200026	ct2	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO (TRATAMIENTO)	388954 E; 8249762 N	26/04/20	10:00 AM	0,495	0,024
SD2200027	ct3	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO (TRATAMIENTO)	388954 E; 8249762 N	26/04/20	10:00 AM	0,505	0,023
SD2200028	STC	SILLUTA / CABANILLAS / SAN ROMAN / PUNO (IN-SITU)	354732 E; 8268376 N	20/03/20	11:00 AM	3,174	0,151
SD2200029	STB	SILLUTA / CABANILLAS / SAN ROMAN / PUNO (IN-SITU)	354732 E; 8268376 N	20/03/20	11:00 AM	3,400	0,155

Laboratorios Analíticos del Sur LAS
Sixto Vicente Juárez Naira
Gerente General
Inq. Químico C.L.P. 1999

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

*«Valor numérico»=Límite de detección del método, *«Valor Numérico»=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <http://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú. (054)443294 - (054)444182

ANEXO 10

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-22-00014



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-SD-22-00014

Pág: 1/1

Señores: ESTEBAN MARIN PAUCARA
Dirección: PUNO
Atención: ESTEBAN MARIN PAUCARA
Proyecto: TECNOLOGÍA DEL VERMICOMPOST EN LA REDUCCIÓN DE PLOMO Y COBRE DE SUELOS CON PASIVOS MINEROS EN SILLUTA CABANILLAS – PUNO, PERÚ

Producto(s) Declarado(s): Suelo
Nro de muestras: 11
Muestreo a cargo de(l): ESTEBAN MARIN PAUCARA
Registro de muestreo: 012-22
Fecha de recepción: 21/06/2022
Fecha de ensayo: 21/06/2022
Fecha de emisión: 22/06/2022
Condiciones de recepción de la muestra: Adecuadas
Observaciones -----

Método de ensayo aplicado

*7109 Método de Ensayo para Plomo - Absorción Atómica en suelos y sedimentos
*7113 Método de Ensayo para Cobre Total - Absorción Atómica en suelos y sedimentos

Cod Int #	Nombre de muestra	Zona, Urb, AAHH / Dist / Prov. / Depart.	Punto de muestreo y/o coordenadas Coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	*7109 Pb %	*7113 Cu %
SD2200041	Dt1	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO	388954 E; 8249762 N	25/05/22	10:00 AM	0,398	0,025
SD2200042	Dt2	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO	388954 E; 8249762 N	25/05/22	10:00 AM	0,451	0,015
SD2200043	Dt3	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO	388954 E; 8249762 N	25/05/22	10:00 AM	0,438	0,018
SD2200044	dt1	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO	388954 E; 8249762 N	26/04/22	10:00 AM	0,648	0,028
SD2200045	dt2	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO	388954 E; 8249762 N	26/04/22	10:00 AM	0,550	0,023
SD2200046	dt3	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO	388954 E; 8249762 N	26/04/22	10:00 AM	0,646	0,024
SD2200047	aAt0	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO	388954 E; 8249762 N	26/04/22	10:00 AM	1,273	0,051
SD2200048	bBt0	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO	388954 E; 8249762 N	26/04/22	10:00 AM	1,346	0,055
SD2200049	cCt0	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO	388954 E; 8249762 N	26/04/22	10:00 AM	1,179	0,048
SD2200050	dDt0	BARRIO VIRGEN DE ROSARIO / PUNO / PUNO / PUNO	388954 E; 8249762 N	26/04/22	10:00 AM	1,355	0,050
SD2200051	STD	SILLUTA / CABANILLAS / SAN ROMAN / PUNO (IN SITU)	354732 E; 8268376 N	20/03/22	11:00 AM	2,764	0,110

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico QIP 114426

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

*"Valor numérico"=Límite de detección del método, "Valor Numérico"=Límite de cuantificación del método
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Esta información es propiedad de Laboratorios Analíticos del Sur. No se permite la reproducción total o parcial de este documento sin autorización expresa de LAS. Cualquier error u omisión en el contenido de este documento es responsabilidad de LAS.

Web: <http://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado, Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582

ANEXO 11

MINI ANEMÓMETRO DIGITAL UT363, Y TERMÓMETRO INFRARROJO UT300S



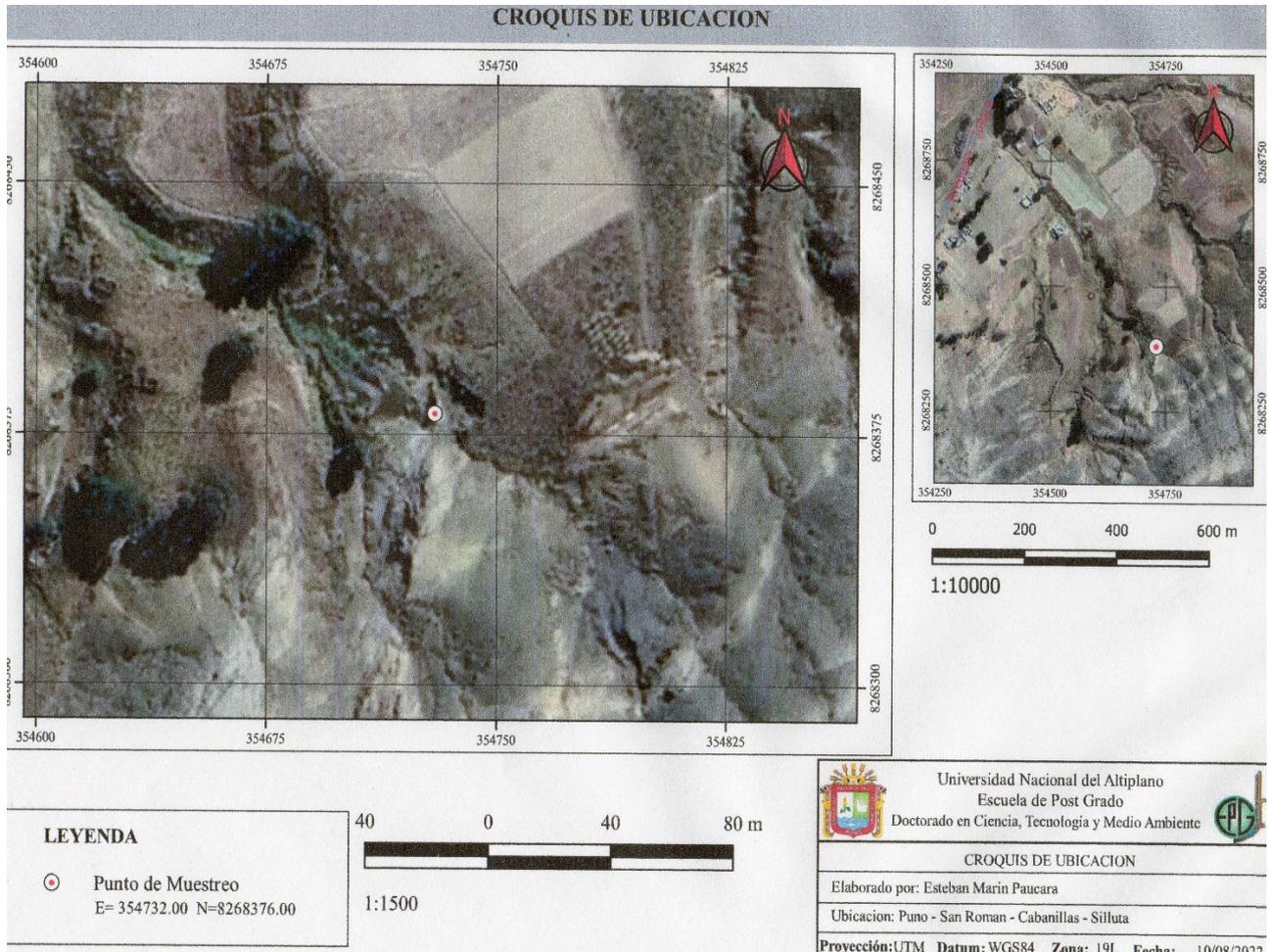
ANEXO 12

PROBADOR pH / TEMPERATURA MULTIFUNCIONAL PH 61181



ANEXO 13

CROQUIS DE UBICACIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO – SILLUTA,
CABANILLAS



ANEXO 14

DECLARACION JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo ESTEBAN MARÍN PAUCARA _____
identificado con DNI 01223130 _____ en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE _____,

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“TECNOLOGÍA DEL VERMICOMPOST EN LA REDUCCIÓN DE PLOMO Y COBRE
DE SUELOS CON PASIVOS MINEROS EN SILLUTA CABANILLAS – PUNO, PERÚ”

Es un tema original.

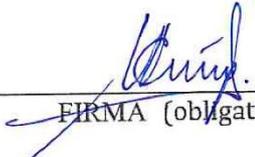
Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno, 14 de abril del 2023



FIRMA (obligatoria)



Huella

ANEXO 15

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo ESTEBAN MARÍN PAUCARA _____,
identificado con DNI 01223130 _____ en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE _____

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“TECNOLOGÍA DEL VERMICOMPOST EN LA REDUCCIÓN DE PLOMO Y COBRE DE SUELOS CON PASIVOS MINEROS EN SILLUTA CABANILLAS – PUNO, PERÚ”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno, 14 de abril del 2023


FIRMA (obligatoria)



Huella