



Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo

**EFICIENCIA DE LA LOMBRIZ DE TIERRA PARA LA BIORREMEDIACIÓN DE
SUELOS AGRÍCOLAS CONTAMINADOS CON PLOMO, A NIVEL DE
LABORATORIO, 2022**

Línea de Investigación:

Tecnologías para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

AUTOR

Gonzales Escobar Jean Pierre

ASESORA

Yaquely Aparicio Ilazaca, Roxana Clara

(ORCID: 0000-0002-8826-4603)

JURADO

Alva Velasquez, Miguel

Mendoza García, José Tomás

Reyna Mandujano, Samuel Carlos

Lima – Perú

2023

Cuando amamos, siempre nos
esforzamos para ser mejores de lo
que somos. Cuando nos
esforzamos para ser mejores de lo
que somos, todo a nuestro
alrededor se vuelve mejor
también

“Paulo Coelho”

Nunca desees borrar los malos
momentos de tu vida, porque son
los malos recuerdos los que te
hacen apreciar los buenos, como
dicen, - necesitas ambos, el sol y
la lluvia, para hacer un arcoíris-

“Alexandra Potter”

Hay momentos en los que miras
atrás y no sabes exactamente
qué pasó. Sólo sabes que, desde
que pasó, nada volvió a ser lo
mismo

“Anónimo”

Dedicatoria

A Dios y mis padres Floricela y Juan Carlos quienes fueron mis guías y apoyo en esta travesía de experiencia de enseñanzas, esfuerzo y lágrimas.

A mis hermanos quienes me acompañaron en mis logros y metas. A mi familia, mi abuelita Bertha y mi abuelo Mario que en paz descansen Mis tíos y tías que estuvieron involucrados en el camino profesional, a mis amistades y personas cercanas del cual me brindaron su apoyo

Y finalmente a mi compañera, amiga y mi amor del cual me siento feliz.

Agradecimiento

Mis logros y mis sueños fueron posibles gracias a Dios; padre de Todopoderoso:

Agradezco y respeto a la vida lo cual me ha permitido avanzar cada día, crecer, aprender, equivocarme y levantarme para ser una persona buena, honrada y con valores.

A mis padres, mi madre Floricela y mi padre Juan Carlos quienes fueron mis guías, mi apoyo y amor en esta travesía de experiencia de enseñanzas, esfuerzo, sudor y lágrimas;

Ellos son mi tesón y mi fortaleza del cual soy y seré un hombre correcto y orgulloso de mi mismo

A mis hermanos Carloandré y Juan Carlos quienes me acompañaron en mis logros y metas, en cada victoria y derrota, ellos serán los testigos de mis objetivos

A mi familia, mi abuela y mamita Bertha quien fue y será mi segunda madre la cual amo muchísimo y mi abuelo Mario que en paz descansa

A mis tíos y tías que estuvieron involucrados en el camino profesional con cada consejo, remuneración desinteresada cuando más necesitaba

A mis amistades y personas cercanas del cual me brindaron su apoyo y buenos deseos cuando no sabía cómo avanzar, quienes me escucharon y comprendieron el proyecto

A mi asesora, Ing. Roxana Aparicio y a mis jurados quien gracias a sus conocimientos, experiencias y tutela sigo aprendiendo del camino y vida profesional

Y finalmente a mi compañera, amiga y mi amor de vida por confiar en lo que soy y quererme tal cuál soy del cual me siento feliz que este a mi lado y lo siga estando con la bendición de Dios

Muchísimas y sinceras gracias a todos ustedes

Resumen

El presente trabajo de investigación comprende un diseño experimental de tipo aplicado.

Objetivo: Evaluar la eficiencia de la lombriz de tierra *Eisenia foetida* para la biorremediación suelos agrícolas contaminados con Plomo, a nivel de laboratorio, 2022, con la finalidad de calcular la eficiencia del plomo (Pb) particularmente en suelos urbanos simulados de diferentes concentraciones iniciales. **Metodología:** Consistió de un sistema piloto de dispositivos de almacenamiento conteniendo una mezcla de suelos sustratos y simulados; agrupados en 04 tratamientos (T) en forma de columnas; 03 de ellos con concentraciones ascendentes (50, 100 y 150 ppm/Pb) aproximadamente y 01 testigo sin contaminante; contando con 03 repeticiones (R) cada una, evaluándose en tiempos de acción inicial y final de 15, 30 y 45 días de biorremediación respectivamente. Se realizó la prueba de DCA efectuando ANOVA a los datos de concentraciones y test de Tuckey verificando la verosimilitud de los tratamientos. **Resultados:** Los valores indicaron una reducción de 80.55 mg/kg de Pb con una eficiencia 72.20% (T3R2). **Conclusión:** Finalmente, con una confianza mayor al 95% que la aplicación de lombrices de tierra en muestras de suelos agrícolas contaminados con plomo (Pb) provenientes de suelos agrícolas de Lima en específico AA.HH. Las Flores de Carabayllo (Huacoy) – Distrito de Carabayllo; es eficiente.

Palabras clave: biorremediación, eficiencia, lombriz, plomo, suelo.

Abstract

This research work includes an applied experimental design. Objective: To evaluate the efficiency of the earthworm *Eisenia foetida* for the bioremediation of agricultural soils contaminated with Lead, at the laboratory level, 2022, in order to calculate the efficiency of lead (Pb), particularly in simulated urban soils of different initial concentrations. Methodology: Consist of a pilot system of storage devices containing a mixture of substrate and simulated soils; grouped into 04 treatments (T) in the form of columns; 03 of them with increasing concentrations (50, 100 and 150 ppm/Pb) approximately and 01 control without contaminant; counting on 03 repetitions (R) each one, evaluating in times of initial and final action of 15, 30 and 45 days of bioremediation respectively. The DCA test was carried out by performing ANOVA on the concentration data and Tuckey's test, verifying the plausibility of the treatments. Results: The values indicated a reduction of 80.55 mg/kg of Pb with an efficiency of 72.20% (T3R2). Conclusion: Finally, with a confidence greater than 95% than the application of earthworms in samples of agricultural soils contaminated with lead (Pb) from agricultural soils in Lima, specifically AA.HH. Las Flores de Carabayllo (Huacoy) – District of Carabayllo; Is efficient.

Keywords: bioremediation, efficiency, earthworm, lead, soil

Índice General

Resumen.....	4
Abstract.....	5
Índice General.....	6
I. Introducción.....	13
1.1. Descripción y Formulación del Problema.....	13
Descripción Del Problema	13
Formulación Del Problema	15
1.2. Antecedentes	16
1.3. Objetivos	24
Objetivo general.....	24
Objetivos específicos	24
1.4. Hipótesis.....	24
Hipótesis General.....	24
Hipótesis Específicas	24
1.5. Justificación e Importancia.....	25
II. Marco Teórico.....	26
2.1. Bases Teóricas.....	26
El Plomo (Pb) y sus Características	26
Contaminación de Suelos Por Plomo (Pb).....	26
Intoxicación por Plomo (Pb).....	27

Métodos de biorremediación.....	30
Bioacumulación en lombrices de tierra.....	30
2.2. Definición de Términos Básicos	31
El suelo.....	31
Suelos de uso agrícola.....	31
Organismos en el Suelo	32
Lombrices de tierra	32
Contaminación de Suelos.....	36
Parámetros del Suelo.....	37
Sustrato	41
Espectrofotometría de Absorción Atómica.....	45
Normativa Nacional e Internacional	45
III. Métodos.....	47
3.1. Tipo de Investigación	47
3.2. Ámbito temporal y espacial.....	47
3.3. Variables.....	48
Variable independiente	48
Variable dependiente	48
Operacionalización de variables	49
3.4. Población y Muestra.....	51
3.5. Equipos e Instrumentos	51

3.6.	Procedimientos	52
	Fase previa	52
	Fase de campo.....	56
	Fase de Laboratorio.....	60
3.7.	Análisis de Datos.....	62
3.8.	Consideraciones Éticas.....	62
IV.	Resultados.....	63
4.1.	Caracterización del Sustrato y Suelo Simulado	63
4.2.	Parámetros Físicos y Químicos del suelo experimental.....	65
4.3.	Cantidad de lombrices para remoción de plomo en suelos.....	67
4.4.	Resultados obtenidos del tratamiento.....	68
4.5.	Análisis Estadístico	72
	Análisis Estadístico Realizado En Las Concentraciones	72
4.6.	Contrastación De La Hipótesis.....	75
V.	Discusión de Resultados	76
VI.	Conclusiones.....	79
VII.	Recomendaciones	80
VIII.	Referencias Bibliográficas	81
IX.	Anexos	93
9.1.	Matriz de Consistencia.....	93
9.2.	Vista Planta del Invernadero implementado “una Caída”.....	96

9.3.	Elaboración del Sistema invernadero Cajas de madera “Piloto”	97
9.4.	Distribución y dimensionado del Sistema invernadero Cajas de madera “Piloto” .	98
9.5.	Mapa de puntos de muestreo de suelos agrícolas.....	99
9.6.	Elaboración del modelo de las fichas de campo	100
9.7.	Panel fotográfico	102
9.8.	Análisis de suelos de resultados de laboratorio.....	118

Índice de Figuras

Figura 1: Fracciones en las que puede estar repartido el metal total contenido en el medio edáfico	29
Figura 2: Sección transversal de la anatomía de la lombriz de tierra.....	33
Figura 3: Sección longitudinal de la anatomía de la lombriz de tierra.....	35
Figura 4: Diagrama de flujo de la construcción del invernadero y los dispositivos de almacenamiento.....	53
Figura 5: Vista planta de la implementación del invernadero “una caída”.....	54
Figura 6: Construcción del invernadero y los dispositivos de almacenamiento.....	55
Figura 7: Estructura de las columnas de tratamiento experimental.....	56
Figura 8: Evidencia fotográfica del muestreo de suelo agrícola.....	57
Figura 9: Construcción del invernadero y los dispositivos de almacenamiento.....	59
Figura 10: Presentación de una de las columnas de tratamiento del experimento.....	60
Figura 11: Etapas del análisis procedimental.....	61
Figura 12: Concentración de lombrices aplicadas al tratamiento.....	67
Figura 13: Incorporación de sustrato y lombrices aplicados.....	67
Figura 14: Resultados de tratamiento de remoción de Plomo por medio de lombrices de tierra.....	69
Figura 15: Resultados de de tendencias de concentraciones límite de diferentes países.....	70
Figura 16: Resultados de la Eficiencia de Remoción de Plomo por medio de lombrices de tierra.....	71
Figura 17: Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD) para la disminución de Plomo con tratamiento a base de lombrices.....	73

Índice de Tablas

Tabla 1: Clasificación taxonómica de las lombrices.....	32
Tabla 2: Ficha técnica o características generales de la lombriz de tierra.....	33
Tabla 3: Ciclo de Vida de lombriz de tierra.....	34
Tabla 4: Detalles de la conductividad eléctrica (C.e.).....	37
Tabla 5: Detalles de la reacción del suelo respecto al pH.....	38
Tabla 6: Valores de la capacidad de intercambio catiónico.....	39
Tabla 7: Contenido de Carbonatos.....	40
Tabla 8: Disponibilidad del fósforo en suelos.....	40
Tabla 9: Disponibilidad de potasio en suelos.....	41
Tabla 10: Parámetros físicos que alteran la calidad de vida de las lombrices de tierra.....	44
Tabla 11: Disponibilidad de Nitrógeno en los suelos.....	44
Tabla 12: Concentraciones de referencia totales de Plomo (Pb) en diferentes países.....	45
Tabla 13: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo.....	46
Tabla 14: Instrumentos.....	51
Tabla 15: Equipos.....	52
Tabla 16: Resultados de Características del Sustrato.....	63
Tabla 17: Resultados de Características del Suelo Simulado.....	64
Tabla 18: Datos de puntos de muestreo analizados en la Investigación.....	65
Tabla 19: Datos Físico - Químicos de la muestra tratada en la investigación.....	66
Tabla 20: Resultados del tratamiento aplicado con lombrices para remover plomo en suelo agrícola.....	68
Tabla 21: Data para Aplicación Estadística para los resultados obtenidos de remoción de Plomo.....	72

Tabla 22: Agrupación información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%.....	74
Tabla 23: Contrastación de Hipótesis de Investigación.....	75

I. Introducción

1.1. Descripción y Formulación del Problema

1.1.1. Descripción Del Problema

Los suelos son impactados significativamente por diferentes presiones antropogénicas, como prácticas agrícolas y forestales inadecuadas, actividades industriales, turismo, expansión urbana e industrial y obras de construcción. Estas presiones, se generan por el aumento de la población y sus actividades, que serán aún mayores con el ascenso esperado de la población mundial (Cachada et al., 2018, p. 2). Las proyecciones de población desde el año 2018 hasta el hasta el 2050 indican que se ubicaran en zonas urbanas desde 4,200 millones a 6,700 millones de personas (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2018, p. 11) lo cual aumenta los cambios y usos de suelo generando contaminación.

Según la Organización de Alimentación y Agricultura y el Grupo Técnico Intergubernamental de Suelo (FAO y GTIS, 2015) informan que la contaminación del suelo es un tema alarmante. Ya que ha sido identificada como la novena amenaza más grande tanto en África Sub-Sahariana y Latinoamérica. La presencia de contaminantes puede provocar desequilibrios en los ciclos de nutrientes y la acidificación del suelo, tal como han sido identificados en el Informe del Estado Mundial de los Recursos del Suelo. (Rodríguez-Eugenio et al. 2019, p.1).

Los contaminantes de suelos más importantes son los metales potencialmente tóxicos, tanto como el cobre (Cu), los niveles de zinc (Zn), plomo (Pb) y cadmio (Cd) son principales debido a su toxicología aguda y crónica produciendo efectos en plantas y animales (Chen y Wang, 2009, p. 195). Por otro lado, la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017) ha incluido al plomo (Pb) dentro de los diez productos químicos principales de graves problemas de salud. Por ello, su exposición en altas dosis, se va acumulando en el organismo, generando problemas neurológicos y conductuales irreversibles.

En el simposio realizado en Roma; la Organización de Alimentación y Agricultura (FAO, 2019) ha debatido la principal causa de contaminación de los suelos agrícolas con plomo (Pb) siendo un problema ocasionado, principalmente, por actividades antropogénicas, uso de uso de agroquímicos, entre otros. Uno de los casos más alarmantes en el Perú se presentó con la empresa minera Doe Run, ubicada en La Oroya; los niveles de concentración del suelo en metales pesados o metales potencialmente tóxicos (MPT) por medio de los flujos de gases y polvos emanados por las chimeneas en las operaciones metalúrgicas representaban el 995.1 m³ (93 %) de SO₂ y 706.2 m³ (66 %) de plomo; vulnerando en ese tiempo la calidad de los suelos urbanos y agrícolas. (Díaz, 2016, p. 107). En Lima, los suelos agrícolas se encuentran en las periferias de la capital como los distritos de Carabayllo, Pachacamac, Puente Piedra y Chosica, en los cuales, el crecimiento demográfico acelerado y desordenado ha sido una preocupación constante, por otra parte, aumento del parque automotor también constituye una fuente de contaminación. Además, sus características topográficas y meteorológicas permiten la acumulación de metales potencialmente tóxicos como el plomo. Un caso más específico, de origen ambiental y ocupacional, se registró en la asociación de propietarios de Roma Baja (Carabayllo) donde los suelos agrícolas registraron 99.7 mg/kg de Pb, afectando su calidad y favoreciendo la intoxicación por consumo debido a la prevalencia en el cuerpo de animales y personas. (Castillo, 2010, p. 1; Bazán et al., 2020, p. 35; Sarmiento y Febres, 2021, p. 200).

Las técnicas o métodos de remediación de suelos abarcan como objetivo el reducir la toxicidad, movilidad o concentración del contaminante, del cual, depende del mismo y de las características del suelo (Alcaino, 2012, p. 20). Sin embargo, los métodos tradicionales para remediación de suelos no son muy asequibles por el alto costo y se recomienda medidas de mayor eficiencia en bajo costo. Por ello, la elección apropiada de una técnica de remediación es fundamental para garantizar la eficiencia del proceso remediador (Sepúlveda, 2015, p. 46).

Es por esto, que la biorremediación de suelos con el uso de las lombrices siendo un método biológico; permite que las concentraciones de metales se reduzcan mediante procesos de bioacumulación en sus cuerpos. (Slizovski y Kelsey, 2010, Mostatafaii et al., 2015, p. 828).

Debido a esta razón, la importancia de procesos de la biorremediación de suelos contaminados con metales potencialmente tóxicos, pueden utilizar organismos vivos como las lombrices de tierra y también enmiendas con alta concentración de materia orgánica (sustrato), permitiendo la recuperación de suelos contaminados a bajo costo con niveles tolerables de toxicidad y aumentando su fertilidad. (Flores, 2018, p. 8).

En consecuencia, la presente tesis busca encontrar la forma de reducir la presencia del plomo en suelos agrícolas simulados por medio de la biorremediación con la lombriz de tierra *Eisenia foetida sp.*

1.2.1. Formulación Del Problema

1.1.2.1. Problema Principal.

- ¿Cuál será la eficiencia de la lombriz de tierra para la biorremediación de suelos agrícolas contaminados con Plomo, a nivel de laboratorio, 2022?

1.1.2.2. Problemas Secundarios.

- ¿Cuál es la eficiencia de la lombriz de tierra sobre la concentración en suelos agrícolas con plomo?
- ¿Cuáles son los parámetros físicos de suelos agrícolas contaminados con plomo para asegurar la supervivencia de la lombriz de tierra?
- ¿Cuáles son los parámetros químicos de suelos agrícolas contaminados con plomo para asegurar la función de remoción de la lombriz de tierra?

1.2. Antecedentes

Según Barbarán (2017) en su tesis “Reducción de Cromo en suelos contaminados por agroquímicos utilizando lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) en el Centro Poblado Huarabi-Canta; 2017”, tiene como objetivo determinar el nivel de reducción de Cromo en suelos contaminados por agroquímicos usando lombrices de tierra (*Eisenia foetida*), cuyo fin es el mejoramiento de la calidad del suelo del centro poblado de Huarabi en vista que dicho suelo es utilizado para fines agrícolas. El método empleado utilizó intervalos de tiempo en 0, 10, 20 y 30 días a distintas concentraciones de lombrices siendo 5, 10 y 15 Kg aplicando 5 repeticiones para cada tratamiento. Se desarrolló un diseño en base a 02 factores; inter-sujeto indica la cantidad de lombrices que disminuyen el cromo (Cr) e intra-sujeto engloba la cantidad del tiempo de acción en días previamente mencionados. Como resultados se tiene que el mayor descenso de la concentración de Cr se obtuvo en los 15 Kg de lombriz con una concentración de 17.264 mg/Kg. En conclusión, al hacer uso de la especie *Eisenia foetida* (lombriz de tierra) genera una reducción de Cr con una eficiencia de 82.8% en suelos contaminados por agroquímicos.

Según Flores (2018), en su tesis titulada “Análisis Comparativo de la biorremediación de suelos contaminados con mercurio por actividad minera aplicando la tecnología de Vermicompost”, teniendo como objetivos: a) Comparar la concentración de vermicompost en la disminución de los niveles de contaminación del mercurio (mg/kg) en suelos y b) Contrastar el efecto del tiempo de aplicación de la vermicompost en el proceso de disminución de los niveles de contaminación de mercurio (mg/kg). Estos dos objetivos fueron concretados analizando el mercurio por el método de espectrofotometría de absorción atómica. Inicialmente las muestras tuvieron 167.5 mg Hg/Kg, en donde se obtuvieron resultados en tres tratamientos (TA, TB y TC) en el periodo 1 (en 15 días) TA= 108.80, TB = 60.59, TC= 64.76 mg Hg/Kg respectivamente, periodo 2 (en 30 días) TA= 63.07, TB= 59.10, TC = 57.56

mg Hg/Kg respectivamente, periodo 3 (en 45 días) TA= 16.15, TB= 15.57, TC= 17.12 mg Hg/Kg respectivamente. En conclusión, se obtuvo una eficiencia de reducción de mercurio total del 73% con 16.28 mgHg/Kg en promedio, en los tratamientos TC en 45 días.

Según Munive (2018), en su tesis doctoral titulada “Recuperación de suelos degradados por contaminación con metales pesados en el Valle del Mantaro mediante Compost de Stevia y Fitorremediación” el cual presenta como objetivo: Estudiar el efecto de la aplicación de compost y vermicompost a base de Stevia sobre la extracción de los metales pesados y la fertilidad de los suelos agrícolas del Valle del Mantaro con la aplicación de la técnica de Fitorremediación, con uso de plantas fitorremediadora. Realizándose a condiciones de laboratorio (UNALM) el trabajo experimental desarrolla la finalidad de obtener la eficiencia de las enmiendas orgánicas. Los resultados arrojan en las localidades de Mantaro y Muqui que la planta de girasol en tratamiento con Vermicompost acumula plomo promedio de 226.18 y 2605.14 mg/kg, y para el cadmio se tiene que acumular un promedio de 8.21 y 9.27 mg/kg respectivamente. La planta de maíz en tratamiento con Vermicompost acumula plomo un promedio de 187.5 y 1703.77 mg/kg en caso de cadmio acumulan en promedio 7.24 y 8.98 mg/kg para la localidad de Mantaro y la localidad de Muqui. En conclusión, el vermicompost de Stevia fue más eficiente en la bioabsorción de nutrientes, ya que altas concentraciones de plomo y cadmio en el suelo no dañan a las plantas.

Según Serpa (2017) en su tesis “Remoción de metales pesados cadmio (Cd) y mercurio (Hg) en lodos residuales de la Laguna de Estabilización secundaria El Espinar – Puno, utilizando vermicomposteo” el cual presenta como objetivo aplicar el vermicompostaje a los lodos residuales de dicha Laguna de Estabilización secundaria para reducir el contenido de metales pesados. Por lo tanto, se diseñó un sistema de vermicompost con 4 muestras, cada muestra con 1 Kg de 100% lodo residual, en dichas muestras se añadió 5 lombrices adultas, en las cuales se analizó las concentraciones de Cd y Hg, mediante la técnica ICP-AES

(Espectrometría de Emisión Atómica). Los resultados muestran una remoción en los metales Cd y Hg para cada muestra con un promedio inicial de 1.762 mg/kg de Cd y después del vermicomposteo un promedio de remoción de 0.09 mg/kg, para el Hg inicialmente se tiene un promedio de 0.513 mg/kg y se obtuvo remoción final de 0.037 mg/kg. En conclusión, el tratamiento con mayor eficacia de remoción de metales pesados, tuvo una eficiencia de remoción de 22% para el Cd y 18% para el Hg. Para no alterar la dinámica poblacional de la *Eisenia foetida* se debe tener en cuenta los parámetros de humedad, pH y temperatura con la finalidad de una alta reproducción de las lombrices.

Según Mosquera (2016) en su tesis de investigación titulada “Eficiencia del lombricompostaje en la biorremediación de suelos degradados por la minería a cielo abierto en el Municipio de Unión Panamericana, departamento del Chocó”. El cual tuvo como objetivos: Evaluar la eficiencia del lombricompostaje en la biorremediación de suelos degradados por la minería. Se estableció un diseño experimental en bloques completos al azar con tres repeticiones. Todos tratamientos empleados incluyeron lombrices los cuales son: Tratamiento-1 (suelo contaminado con mercurio (Hg) al 100%), Tratamiento-2 (suelo contaminado con Hg (50%) + compost no contaminado (50%)), Tratamiento-3 (Compost contaminado con Hg (100%)), y Tratamiento-4 (Compost no contaminado). Este proceso duro 133 días para observar la remoción de Hg en ese tiempo, en los tratamientos 1, 2 y 3 a través de análisis de laboratorio. Los resultados obtenidos evidencian que la mayor remoción de Hg fue de 65%, seguido del tratamiento-2 con un 43% y el tratamiento-1 con un 28%. En conclusión, la población final y el tamaño de las lombrices, solo se afectaron en el tratamiento-1, donde observo un aumento de 20% y 5% respectivamente; y los demás tratamientos hasta un 50% lo cual demuestra que la aplicación combinada de lombriz (*E. foetida*) sumando con el compostaje resultan ser una alternativa eficiente para la biorremediación en la contaminación de suelos con metales pesados.

Según Mendoza e Iannacone (2021) en su artículo de investigación titulado “Evaluación ecotóxica de suelos contaminados con residuos municipales de un botadero en *Eisenia foetida*”, tuvo como objetivo exponer a *E. foetida* a cinco muestras de suelos contaminados por residuos municipales procedentes del botadero Pampa Calanguillo, Lima, Perú. Las 4 muestras (con rotulación base CA-SU-) fueron evaluadas a 6 concentraciones diferentes de contaminantes (As, Ba, Cd, Cr, Hg; Pb y HTP) respectivamente y un tratamiento control (CA-SU-NF) perteneciente a un sustrato (simulado) obteniéndose su efecto ecotóxico. El efecto letal de la lombriz de tierra fue la mortalidad, y los efectos subletales (como la fragmentación, adelgazamiento, oscurecimiento, peso medio y longitud media) a los 7 y 14 días de exposición. Los suelos presentaron mayor toxicidad letal aguda (CL_{50}) a los 7 días de 1.96 mg/kg en relación a los metales encontrados en la muestra CA-SU-03 y 21,63 mg/kg en los suelos CA-SU-NF menor toxicidad (con dosis relacionadas de 74.3 mg/kg y 7.43 mg/kg de plomo correspondientemente según la calidad examinada) en *E. foetida*. Los efectos subletales más importantes fueron; la fragmentación y oscurecimiento en las concentraciones más altas. Se concluye que existe un efecto ecotóxico letal y subletal en *Eisenia foetida* en los suelos contaminados por residuos municipales.

Según Pérez (2015) en su tesis titulada “Evaluación de los nutrimentos y capacidad remediadora de la lombriz de tierra (*Eisenia foetida*) para extraer plomo y cadmio de precomposta equina y caprina en la región de Nascas, Durango” tiene como objetivo evaluar los nutrimentos y determinar la capacidad de la lombriz (*Eisenia Foetida*) de extraer Pb y Cd en precomposta mezclada (equina y caprina), en un lombriciario. La tesis se dividió en la fase de trabajo de campo consiste en obtener las muestras de la vermicompost de precomposta mezclada y la fase de laboratorio lo cual, determina la muestra vermicompost caprina y equina, así como las muestras de lombrices. En la precomposta mezclada, lombrices de tierra y el vermicompost se analizaron los metales As, Pb, Cd y Zn; en este último, también se

analizaron los parámetros físico químicos C.E, pH, N, P, K, Ca, Mg, M.O., C, ácidos fúlvicos y húmicos, Na, Fe, Cu. Los resultados indican respecto a las concentraciones de Pb, Cd, As y Zn; en la precomposta el Pb se encontró en mayor concentración con 523.66 mg/kg, luego le sigue el Zn con 81.32 mg/kg. Por otro lado, en el vermicompost caprina en 408.5 mg/kg y equina 400.5 mg/kg de Pb en mayor concentración. En la lombriz de tierra de sustrato vermicompost fue con una concentración de 386 mg/kg de Pb y finalmente en la precomposta mezclada con una concentración 523 mg/kg. Se concluye, que los nutrimentos en cuanto a su composición y concentración es adecuada para usarla como fertilizante orgánico se detectaron altas concentraciones de Pb y Cd en las lombrices, pero no en la precomposta y vermicompost mezclados lo que confirma que esta especie es un elemento biorremediador.

Lemtiri et al. (2015) en la investigación titulada “Las lombrices de tierra *Eisenia foetida* afectan la absorción de metales pesados por las plantas *Vicia faba* y *Zea mays* en suelos contaminados con metales” tiene como objetivo evaluar el papel de las lombrices de tierra *E. foetida* sobre la disponibilidad de metales en el suelo y sus efectos sobre la absorción de metales por *V. faba* y *Z. mays* plantas en diferentes concentraciones de suelo. Las lombrices de tierra aumentan la disponibilidad de metales pesados, ayudan a mantener la estructura y calidad del suelo. Los resultados indican que las especies modificaron la disponibilidad de metales en suelos después de 42 días de exposición. El desarrollo metabólico de las lombrices varió por la presencia de los metales plomo y cadmio (Pb y Cd) y/o adición de las plantas en presencia o ausencia de lombrices de tierra, *V. faba* acumuló concentraciones más altas de cobre y zinc (Cu y Zn) en comparación con *Z. mays* que acumularon concentraciones más altas de Cd. Se concluye que la lombriz de tierra acumula los metales pesados de manera eficiente excepto el cadmio (Cd) lo cual conlleva a mejorar la disponibilidad de adsorción en plantas cultivadas en el estudio.

Los autores Mostafaii et al. (2015), en la investigación titulada “Eficiencia de la goma de tierra *Eisenia foetida* bajo el efecto de la materia orgánica para la biorremediación de suelos contaminados con cadmio y cromo” comprende como objetivo de evaluar el desempeño de *Eisenia foetida* Se examinaron lombrices de tierra bajo el efecto de material orgánico para la biorremediación de suelos contaminados con cromo y cadmio. El estudio se realizó en suelos contaminados por cadmio y cromo, añadiendo el 5 a 9% de materia orgánica, midiéndose las concentraciones inicial y final de los metales entre 21 a 42 días. Los resultados indicaron el aumento de la mortalidad de gusanos en el suelo es importante no recomendar este método a una concentración de 0.08 mg/g de cromo.

Según Vera (2013) en su artículo de investigación titulada “Tratamientos de biorremediación para la eliminación de residuo de sales inorgánicas generados en laboratorios de química general mediante el uso de la técnica de lombricultura, presenta como objetivo estudiar los efectos que pueden tener la aplicación de sales inorgánicas en la siembra de lombriz roja, se analizaron los efectos de crecimiento y desarrollo de la *Eisenia foetida* manteniendo condiciones estables de pH, como consecuencia a residuos de sales inorgánicas a sustratos (estiércol de caballo, de cabro, materia vegetal y melaza generados en laboratorios de química general de la Universidad de Pamplona. En conclusión, el efecto fue positivo en la dinámica poblacional de la lombriz en variables controladas de 60% de humedad y un pH casi neutro de 7.2

Según Lacarta et al. (2012) en la tesis titulada “Respuesta fisiológica de la comunidad bacteriana en suelos contaminados por cadmio y el papel de la lombriz (*A.caliginosa*) como posible biorremediador” con objetivo fue valorar el impacto que la contaminación por cadmio tiene sobre la funcionalidad de la comunidad bacteriana del suelo y el papel remediador de las lombrices (*Aporrectodea caliginosa*) en suelos contaminados por cadmio. La metodología empleada fue determinar la caracterización del suelo a estudiar, la adquisición y el

mantenimiento de las lombrices, el diseño experimental consistió en 02 tratamientos sin lombrices S (sin cadmio), Cd (solo cadmio) y 02 con lombrices Lo (sin cadmio), LoCd (con cadmio) en suelo experimental a diferentes concentraciones de estándares de Cd; la medida de temperatura y humedad en el suelo, aire, recolección de lixiviado, pesaje y sacrificio de lombrices y finalmente análisis de muestras (lombrices y lixiviados), además de un seguimiento microbiano. Los resultados indican 4 niveles de análisis: en relación a la caracterización del suelo se obtuvo una concentración de cadmio del LoCd de 310,93 $\mu\text{g/g}$ un 5,4 por ciento menor que la del tratamiento sin lombrices. Con respecto al lixiviado, el metal presente sólo tuvo 4,22 por ciento del que había sido agregado con el riego (95,78 por ciento de cadmio retenido). En relación a la acumulación de cadmio en el periodo de aclimatación (T0) fue de 0,143, en el primer periodo (T1 en Lo) fue 0,139 y en el segundo periodo (T2) fue 0,108 en Lo y 13,152 en LoCd $\mu\text{g/lombriz}$ respectivamente. Los análisis realizados en la aplicación del presente estudio resultó ser beneficioso por la eficiencia del *A. caliginosa* en prevenir que el suelo alcance niveles de contaminación por cadmio. Por otro lado, parece existir un antagonismo entre la comunidad microbiana (específicamente su capacidad degradadora) en presencia de cadmio y la presencia de lombrices con respecto a la remediación.

Según Molina (2012) en su tesis titulada “Evaluación de abonos orgánicos y lombrices de tierra en muestras del depósito municipal de basura de la Ciudad de León para su biorremediación a través de bioensayos”. Con el objetivo general de: Evaluar el uso de abonos orgánicos y lombrices de tierra como biorremediadores en la reducción de contaminantes en muestras del depósito de basura municipal del lugar. Utilizando el análisis preliminar de la ruta de exposición con la metodología de ATSDR. Se establecieron tres bioensayos, dos con lombrices de tierra y uno con abonos orgánicos. Los resultados nos indicaron que no hubo mortalidad de lombrices. La producción de cocones se redujo a medida que se incrementaba

el material contaminado en los tratamientos. Es decir, el bioensayo con dos densidades de lombrices se incrementó la población de 14.29 a 20%. Se redujeron las concentraciones de Pb 99.99% a 93.35%, manteniéndose constante las concentraciones Cr y Cd. El Pb decreció 59.46 a 43.24%. El Cd disminuyó 24.46 a 23.78%. El NO_3^- se incrementó en ambos tratamientos. En conclusión, el uso de lombrices de tierra y abonos orgánicos fueron efectivos para reducir las concentraciones de Cr, Pb, Cd.

Según Loza (2007) en su tesis titulada “La lombriz de tierra, *Eisenia andrei* (Bouche, 1972) como bioacumulador de metales pesados (Pb) durante la transformación de los desechos sólidos orgánicos de Guadalajara, Jalisco, México”; y como objetivos: Evaluar a la lombriz de tierra roja californiana *Eisenia andrei* (Bouche, 1972) como bioacumulador de plomo (Pb), en la transformación en abonos orgánicos de los desechos sólidos orgánicos de Guadalajara. Para la realización del trabajo se adquirieron seleccionada de 16 colonias los residuos sólidos Urbanos procedentes de las colonias de Guadalajara. Para su empleo fue necesaria su caracterización físicoquímica, una parte de ella se fermentó hasta composta y otra parte se empleó para alimento de las lombrices con y sin plomo, determinándose el Cl_{50} . Los resultados respecto a la prueba de fitotoxicidad da un porcentaje de brotes del 95%, indicando su viabilidad para su empleo como fertilizante orgánico; los valores de las concentraciones respecto para la toxicidad Aguda del plomo sobre la lombriz de Tierra *Eisenia foetida* dando un valor de 32-40ppm. El valor de Cl_{50} está entre los 45 y 60 ppm, por lo que por extrapolación se obtuvo el valor de x% que puede causar algún efecto se estimó en 45.7 ppm, esta metodología fue de uso de la lombriz para la identificación de la toxicidad en el suelo causada por plomo.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Evaluar la eficiencia de la lombriz de tierra para la biorremediación suelos agrícolas contaminados con Plomo, a nivel de laboratorio, 2022.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar la eficiencia de la lombriz de tierra sobre la concentración en suelos agrícolas con plomo.
- Analizar los parámetros físicos de suelos agrícolas contaminados con plomo para asegurar la supervivencia de la lombriz de tierra.
- Analizar los parámetros químicos de suelos agrícolas contaminados con plomo para asegurar la función de remoción de la lombriz de tierra.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis General

- La lombriz de tierra es significativamente eficiente para la biorremediación de suelos agrícolas contaminados con Plomo, a nivel de laboratorio, 2022.

1.4.2. Hipótesis Específicas

- La lombriz de tierra es significativamente eficiente sobre la concentración en suelos agrícolas con plomo
- La lombriz de tierra es significativa sobre los parámetros físicos de suelos agrícolas contaminados por plomo
- La lombriz de tierra es significativa sobre los parámetros químicos de suelos agrícolas contaminados por plomo

1.5. Justificación e Importancia

El crecimiento demográfico, las actividades industriales y urbanas inciden en la contaminación de los suelos de uso agrícola. Los aumentos de estas actividades favorecen el origen de los metales potencialmente tóxicos (MPT) especialmente los metales de alta toxicidad como el plomo que están inmersos en los cambios y usos del suelo. Tras ello, se han determinado diferentes métodos remediadores para recuperar los suelos contaminados, uno de los métodos más adecuados propuestos estos últimos años es la biorremediación con lombrices de tierra ya que por mecanismos de acumulación permite reducir niveles de contaminación. Por lo tanto, esta investigación propone los siguientes tipos de justificación:

La justificación metodológica implementada en base a un sistema piloto vertical para la biorremediación con lombrices de tierra, fue planteada en base a los autores, antecedentes y revisión bibliográfica que alimentan el diseño propuesto.

La justificación teórica permite aportar bases técnicas - científicas sobre el comportamiento de los metales potencialmente tóxicos mediante de biorremediación a través de las lombrices de tierra permitiendo un estudio más actualizado y especializado sobre el estudio del ampliando los conocimientos y el comportamiento sobre suelos contaminados con plomo (Pb).

La justificación práctica, permite a otros investigadores aperturar nuevos conocimientos proponiendo estudios sobre la eficiencia de la lombriz de tierra en otras regiones.

II. Marco Teórico

2.1. Bases Teóricas

2.1.1. *El Plomo (Pb) y sus Características*

El metal plomo es considerado un metal pesado con número atómico de 82 y peso atómico de 207.19 g/mol, tiene un color azulado el cual se oscurece para obtener un color gris mate. Tiene propiedades de flexibilidad, inelástico y su fundición se da a 327.4°C, hierve a 1725°C. El plomo es relativamente resistente al ataque por H₂SO₄ y HCl, y de disolución lenta ante el HNO₃. Este metal es anfótero porque forma sales a partir de los ácidos, así como también sales metálicas del ácido plúmbico, formando, óxidos, así como compuestos organometálicos (Lenntech B.V., 2021).

La Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo (2001) menciona que el metal Pb se encuentra en estado natural como galena (sulfuro de plomo) el cual es considerado como la materia prima para la producción comercial de plomo (Pb). El método de triturado en seco, la molturación húmeda, clasificación gravimétrica y flotación, son métodos que serán de ayuda en separar los minerales de plomo de la ganga, así como de minerales externos a este. Los minerales de Pb separados serán fundidos mediante un proceso basado en 3 etapas de desarrollo; primero la etapa de preparación de la carga dentro de la cual considera la mezcla, el condicionamiento, etc, segunda etapa se encuentra el sinterizado y por último la reducción en hornos altos. Luego el Pb es refinado mediante la separación de metal Cu, Sn, Ar, Al, Zn, Au y bismuto. (Agency for Toxic and Disease Registry [ASTDR], 2007, pp 39-40).

2.1.2. *Contaminación de Suelos Por Plomo (Pb)*

La industria gasolinera es la principal causante de contaminación de suelos por plomo encontrándose en este caso el nivel más alto por presencia de plomo aledaños a las carreteras e industrias. Cuando el plomo cae al suelo este se adhiere fuertemente a las partículas del suelo permaneciendo en su capa superior, por tal motivo la utilización de plomo en el pasado

tanto el gasolineras, pinturas y plaguicidas han tenido un importante impacto ambiental principalmente el suelo debido a la cantidad de plomo que en ella se encuentra. (ASTDR, 2007, p. 3). La absorción de plomo por los suelos aumenta cuando este es más ácido y si su contenido en materia orgánica es escaso, el plomo es altamente toxico para los seres vivos (Flores, 2008, p.11).

2.1.3. Intoxicación por Plomo (Pb)

Según la Organización Mundial de La Salud (OMS) menciona que las personas están expuestas al contacto por plomo tanto en su centro de labores como en su entorno debido a que se inhala partículas de plomo (siendo una de las principales vías) los cuales son derivados de los materiales de combustión debido a actividades como es la de fundición, barnices para cerámicas, reciclaje bajo condiciones inadecuadas, el uso de combustible con Pb caso gasolina, la ingesta de alimentos contaminados que hayan estado expuestos a recipientes bañados con esmalte de Pb o que hayan sido soldados con este metal así como el agua ingerido que vienen de una red de tuberías de Pb, la utilización de productos cosméticos y medicamentos no regulados son considerados otra fuente de exposición al Pb, entre otros (Datos de Observatorio de salud Global, [GHO], 2020).

La tasa de absorción de partículas menores a $5 \mu m/min$ de Pb puede ser peligrosa a mayor tiempo de exposición. En caso de los adultos, la cantidad ingerida mediante esta vía es hasta un 20-30%; sin embargo, los niños tienden a absorber niveles altos de plomo reemplazando al Calcio (Ca) y en etapa del embarazo en un 50 % poniendo al alto riesgo al feto. (OMS, 2017). Este metal se distribuye en la sangre en un 95% del Pb adherido a los glóbulos rojos (eritrocitos); luego pasa a los tejidos blandos (sistema nervioso central, riñón, médula ósea e hígado). Después de 1 a 2 meses el plomo se distribuye a los huesos. Por otro lado, los síntomas que se pueden presentar son cefaleas, dolor epigástrico y abdominal, irritabilidad, náuseas y vómitos. En situaciones más críticas provocan alteraciones a nivel

renal, hepático; hemático, bajos niveles de hemoglobina provocando anemia; también, síntomas como, ataxia, apatía, alteraciones del comportamiento, confusión, coma y convulsiones, somnolencia y vómito esporádico provocando la muerte en 3 o 4 días (Sepúlveda, 2015, p. 9; Chávez, 2018, pp. 19-21 y GHO, 2020).

2.1.3.1. Biodisponibilidad de Pb en suelos. Las formas más inestables de los metales disueltos, intercambiables y unidos a compuestos orgánicos en el suelo, además, permiten utilizarse para verificar su movilidad y su biodisponibilidad; en cambio, los metales adsorbidos, que se unen a carbonatos u óxidos son las fracciones estables. (Sherameti y Varma, 2010; p. 237; Lacarta et al., 2012, p. 6)

En los metales potencialmente tóxicos, el suelo reacciona con una respuesta definida por su capacidad intrínseca de amortiguar los efectos de la contaminación. La capacidad de amortiguación en los suelos a corto y mediano/largo plazo estará determinada por la capacidad de respuesta de los suelos para inmovilizar o sorber (sorción) los metales (Pb) (Batjes, 2000, p. 5). En suelos con poca respuesta de inmovilización de metales, presentará mayor riesgo de efectos cuando se exceda la capacidad límite de sorción y el metal sobrante resulte disponible para la biota y el agua. En suelos con mayor capacidad de inmovilización de metales pesados, el riesgo implicará en una mayor acumulación y su posible movilización por cambios en el entorno, un claro ejemplo, la lluvia ácida y las variaciones en el cambio de uso de los suelos generados por esta. (Rábago, 2011, p. 7 y 123)

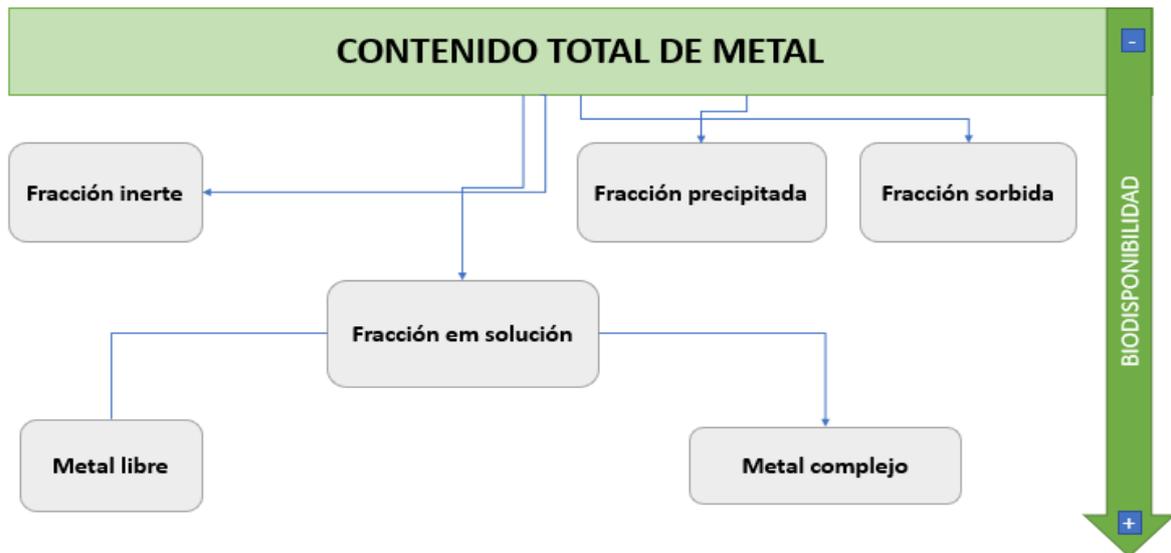
En las diferentes fases del suelo la distribución de los metales brinda una muestra de su disponibilidad, a su vez refleja la movilización de metales como riesgo asociado (Chimwamurobe et al., 2014, p. 12), por lo que, en la fracción orgánica y residual, las concentraciones mayores de plomo (Pb) evidencian baja biodisponibilidad para un suelo. La fracción residual pertenece a la de menor biodisponibilidad, en efecto, el metal luego de ser

meteorizados se presenta retenido en minerales de manera natural liberando Pb en el suelo.

(Alloway, 2013)

Figura 1:

Fracciones en las que puede estar repartido el metal total contenido en el medio edáfico



Nota. Adaptado de Rábago, 2011.

Por otro lado, las lombrices de tierra tienen una gran posibilidad que aumente la biodisponibilidad de los metales en el suelo, es más importante sobre los métodos de remediación usados eliminan solo una parte de los metales. (Udovic y Lestan, 2010 y Lacarta et al., 2012, p. 57)

2.1.3.2. Biorremediación de Suelos. En los últimos años se ha comenzado a investigar la biorremediación de suelos respecto a sus ventajas sobre a la remediación físico-química, lo cual involucra bajos costos de operación e impactos positivos socioambientales. (Zapata et al., 2017, p. 79).

La biorremediación pueden ser determinadas de manera in situ o ex situ cuya implicancia se asienta en el manejo de microorganismos, plantas, hongos, bacterias, lombrices de tierra a nivel experimental encargados de la degradación de contaminantes orgánicos que se encuentran presentes en el ambiente, transformándolos en compuestos más simples y

menos dañinos, para la biorremediación se pueden utilizar microorganismos (propios del sitio contaminado autóctono o de otro lado exógenos) por ende la biorremediación será cualquier proceso de recuperación medio ambiental. (Hernandez, 2013, p. 29).

2.1.4. Métodos de biorremediación

Los métodos existentes de remediación de suelos contaminados son de naturaleza fisicoquímicos, térmicos y biológicos. La mayoría de ellos puede emplearse en el foco de la contaminación o como tratamiento en ambientes controlados. Los métodos fisicoquímicos emplean propiedades físicas y químicas de los contaminantes para separar, degradar o contener dichos contaminantes. Los métodos térmicos producen calor para fundir los contaminantes del suelo. En cambio, los métodos biológicos (biorremediación), requieren de organismos vivos para la degradación o remoción de las sustancias tóxicas como metales potencialmente tóxicos (Volke y Velasco, 2002, p. 31).

2.1.4.1. Tratamiento ex situ. El tratamiento ex situ demuestra las ventajas de menor tiempo para el tratamiento de suelo y mayor seguridad en cuanto a uniformidad (significa homogenizar y muestrear periódicamente). La desventaja proviene en la necesidad de excavar el suelo, lo cual genera un aumento de costos e ingeniería para el empleo de equipos, incluso debe ser considerada la manipulación del material y la potencial exposición al contaminante (Volke y Velasco, 2002, p. 37).

2.1.5. Bioacumulación en lombrices de tierra

Las lombrices de tierra por vivir en contacto directo con el sustrato y por su condición de alimentarse por ingesta de sedimentos y materia orgánica en descomposición mientras va excavando galerías en el suelo, se encuentran continuamente expuestas a metales pesados (Cd, Hg, Pb y Cu), los cuales pueden ser bioacumulados con gran facilidad en sus tejidos; la bioacumulación dependerá, del tamaño corporal, estado fisiológico y reproductivo de los organismos (Podolak et al., 2011; Rana et al., 2013, Goswami et al., 2014).

Las lombrices presentan resistencia relativa frente a los metales potencialmente tóxicos (MPT) por lo que pueden aplicarse como bioacumuladoras después ser aisladas del suelo permitiendo rescatar los metales. Existen dos formas del proceso de bioacumulación en lombrices; en primer lugar, absorbido por la pared corporal a través de la mucosa, (barrera que cumple la función de respiración y excreción) respecto al agua intersticial de la fracción disuelta asimilando a largo plazo el metal, saturando la barrera encontrándose en estado estable. Por otro lado, a través del intestino absorbido en el sistema digestivo, ingerido el material es neutralizado el pH por secreciones de CaCO_3 de las glándulas calcíferas sufriendo una sucesión de transformaciones provocando la formación de ácidos húmicos y moléculas inorgánicas (con su gran peso molecular mejora la capacidad de sorción de los metales por la actividad microbiana) favoreciendo la reducción de la fracción de metales en soluciones dentro del suelo y su efecto tóxico. (Edwards y Lanno, 2004; Peijnenburg y Vijver, 2009; Lacarta et al., 2012, p. 57).

2.2. Definición de Términos Básicos

2.2.1. *El suelo*

El suelo es considerado un recurso natural estructurado, el cual, se encuentra en permanente cambio y depende de factores bióticos y abióticos quienes modelan este recurso. Entre los factores de formación está el clima, organismos, el relieve y el tiempo; todos ellos actúan sobre la roca madre, dependiendo del tipo de roca madre se da el tipo de suelo, como consecuencia de procesos físicos, químicos y biológicos. (Chavarría, 2011, p. 17).

2.2.2. *Suelos de uso agrícola*

Suelo dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de flora y fauna nativa, como es el caso de las áreas naturales protegidas. (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017).

2.2.3. *Organismos en el Suelo*

La función que cumplen los microorganismos al transformar la materia orgánica es de gran importancia ya que sin ellos la formación de suelos tomaría un largo periodo de tiempo. Los organismos del suelo, por ejemplo, pueden ser grandes las lombrices (*Eisenia foetida*), los escarabajos, los ciempiés, y pequeños como microorganismos vegetales. (Chavarría, 2011, p.7)

2.2.4. *Lombrices de tierra*

Las lombrices de tierra mejoran las características físicas al construir galerías, removiendo y mezclando de manera vertical los compuestos orgánicos de la capa arable en el suelo favoreciendo las condiciones de aireación (Restrepo et al. 2007, p. 8). Además, perforan galerías hacia todas las direcciones, en general, estas excavaciones resultan ser más profundas que las realizadas por los arados, esta acción segrega una mucosa que brindan firmeza a las paredes de las galerías y el enraizamiento del sistema suelo- planta. (Chavarría, 2011, p. 58)

2.2.4.1. Características Generales De las Lombrices. Según la Guía de Lombricultura Guzmán y Somarriba, (2004, pp. 5-7) y Lombricultura (Restrepo et al., 2007, pp. 8-10) las características generales de la lombriz de tierra constituyen su clasificación taxonómica, su ficha técnica y ciclo de vital a través de las siguientes tablas:

Tabla 1:

Clasificación taxonómica de las lombrices

Clasificación taxonómica	
Reino	Animal
Tipo	Anélido (cuerpo anillado)
Familia	Lumbricidae
Orden	Opisthoro
Género	Eisenia

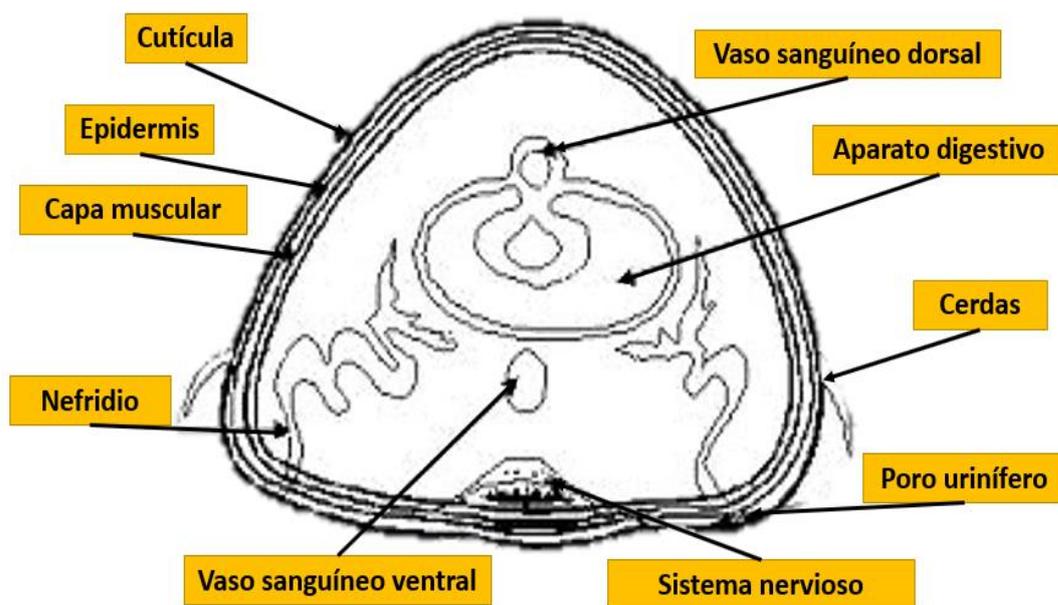
Especie

*Eisenia foetida**Pared del cuerpo, Sistema respiratorio*

Anatomía

Aparato digestivo, Sistema nervioso, Aparato circulatorio, Sistema reproductor, Aparato neurosensorial, Sistema excretor

Nota. Adaptado de Guzmán y Somarriba (2004) y Restrepo et al. (2007)

Figura 2:*Sección transversal de la anatomía de la lombriz de tierra*

Nota. Extraído de <https://guiadelombricultura.wordpress.com/2011/10/03/anatomia-de-la-lombriz-californiana>

Tabla 2:*Ficha técnica o características generales de la lombriz de tierra*

<i>Ficha técnica</i>	
Fisiología	La forma de su cuerpo es cilíndrica, anillada el cual presenta segmentos que van desde los 120 a 175, además, cubierta por una capa fina de cutícula (color marrón brillante, quitinosa y transparente), llega a medir en su estado adulto un tamaño que oscila de 6 a 8 cm de largo con un diámetro que se encuentra entre los 3 a 5 cm su color característico es rojo oscuro en esa etapa, y en lombrices jóvenes de blanco a rosa.

Función vital	Consta de celoma, cavidad generadora del líquido celómico del cual funciona con esqueleto hidrostático en divisiones septos y cubierto a lo largo de todo el animal. El sistema circulatorio está conformado por 5 corazones (tubos musculares en pares) y 3 pares de riñones. Posee respiración cutánea (epidermis), deposita el humus en un 1/3 de su desplazamiento, en tal sentido, la cutícula debe permanecer constantemente húmeda.
Alimentación	Su alimentación es a través de una boca por succión de nutrientes, y de las glándulas calcíferas (glándulas de Morren) reguladoras del pH inhibiendo algunos hongos y bacterias que están en los sustratos orgánicos que consumen
Composición	Está constituida por un 80% agua y 20% materia seca, posee el 65% de proteína.
Debilidad	La exposición de rayos ultravioleta (UV) es mortal en un corto periodo.

Nota. Adaptado de Guzmán y Somarriba (2004) y Restrepo et al. (2007)

Tabla 3:

Ciclo de Vida de lombriz de tierra

Ciclo Vital	
Reproducción	Es hermafrodita: Posee ambas gónadas (ovarios y testículos), es auto insuficiente para fecundarse, ya que requiere el acoplamiento de otra lombriz, el apareamiento (entre 7 o 10 días) se origina de tal forma que se corresponda al aparato genital masculino con el femenino situándose las dos lombrices en posición paralela en sentido inverso, al efectuarse esto, produce un intercambio de espermatozoides resultando ambas fecundadas.
Estado Clitellium	Presenta forma de anillo de color blanco-rosado, está situado en el tercio anterior del cuerpo, proporcionado de una glándula encargada de producir las sustancias que formaran capullos o cocones en el cual se encuentran los huevos fecundados. Los cocones con unos 2-3 mm de diámetro presenta forma de pera de colores como: verde, amarillo, verde rojizo; el cual, a partir de 14 a los 21 días se abren en condiciones favorables de humedad, temperatura etc.
Jóvenes	A los 3 meses alcanzan madurez sexual y cuando que se forma el Clitelo estarán sexualmente disponibles para el apareamiento con una duración de 15 minutos en un intervalo mínimo de 7 días.
Adulto	En el séptimo mes de su nacimiento se da la etapa adulta, a más de 120 días tomará un color rojizo con condiciones de apareamiento.

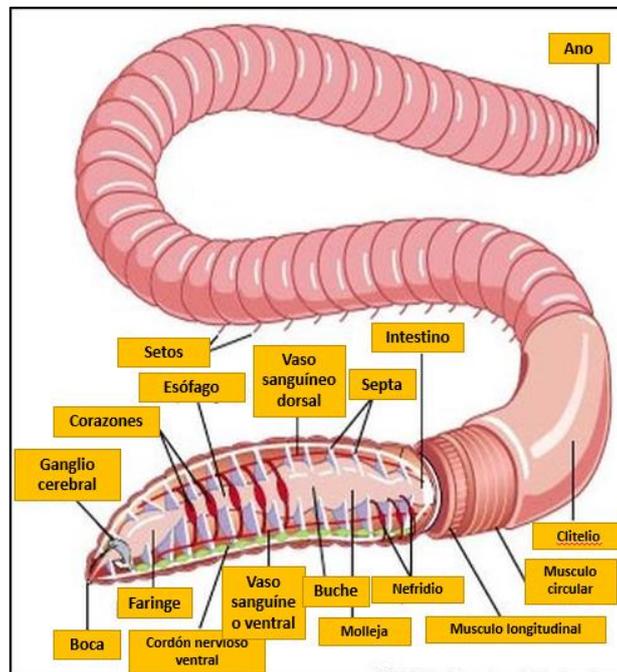
Prolificidad

A condiciones favorables 2 a 21 lombrices engendran hasta 1,500 descendientes lombrices al año.

Nota. Adaptado de Guzmán y Somarriba, 2004.

Figura 3:

Sección longitudinal de la anatomía de la lombriz de tierra



Nota. Extraído de <https://projeclombricultura2017.site123.me/la-lombriz-roja-californiana->

2.2.4.2. Factores de Desarrollo de las lombrices. Se mencionan las características para el óptimo desarrollo de las lombrices según nos explica que los dispositivos de almacenamiento deben contemplar los factores de desarrollo se tomarán en cuenta las siguientes propiedades como: la ubicación, de preferencia superficie plana con pendiente no mayor de 20%, drenaje considerando la disponibilidad agua y orientado a la dirección de viento predominante. Los sistemas de riego más adecuados son manuales y por aspersión; los riesgos no deben producir encharcamientos, ya que el exceso de agua desplaza el aire del material provocando fermentación anaeróbica. (Cajas, 2009, p. 14; Trejos y Agudelo, 2012, p. 40). La aireación, las lombrices requieren de un sistema de aire de forma mecánica por lo menos cada 7 días. Si esta no es adecuada, puede afectar la alimentación, el apareamiento y

reproducción debido a la compactación. La humedad, temperatura y el pH se detallará en más adelante. (Guzmán y Somarriba, 2004, p. 7; Restrepo et al., 2007, p. 10)

2.2.5. Contaminación de Suelos

Se denomina al suelo contaminado aquel cuyas características físicas y químicas, han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias contaminantes depositadas por la actividad humana, en concentración tal que comporte un riesgo inaceptable para la salud humana o el medio ambiente. (Adaptado del D.S. N° 002-2013-MINAM)

La contaminación de suelos suele ser causada por eventos específicos o dentro de un área determinada donde los contaminantes son fácilmente identificados. Este tipo de contaminación se llama contaminación puntual. La aspiración de partículas de plomo formadas por la combustión de materiales. La minería ha tenido gran impacto sobre los suelos, la fundición de metales para la separación de minerales ha vertido gran cantidad de contaminantes al suelo. (Rodríguez et al., 2019)

2.2.5.1. Metales pesados. Definido como aquel elemento químico que posee propiedades metálicas como es la conductividad, la densidad, la ductilidad, estabilidad como catión y especificidad al ligando (Beltrán y Gómez, 2016, p. 173). Son un conjunto de 65 elementos en la tabla periódica, sus características es que poseen número atómico mayor a 20 con una alta densidad relativa $\geq 5 \text{ g/cm}^3$ en estado basal. Estos metales poseen distintas características físico-químicas y biológicas, estos se encuentran creando iones complejos y libres, y participan en la reacción redox los cuales resultan ser potencialmente dañinos. Actualmente los metales pesados se definen como metales potencialmente tóxicos (PTM) por su alta capacidad bioacumulativa en los tejidos orgánicos de todo ser vivo. (Duffus, 2002; Lucho et al., 2005; Marrero-Coto et al., 2010; Liu et al., 2019)

2.2.6. *Parámetros del Suelo.*

La caracterización del suelo comprende parámetros físicos y químicos como la textura (% arena, limo y arcilla), contenido y tipo de arcilla, conductividad eléctrica (C.e.), capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.), materia orgánica, carbonatos (CaCO₃) y materia orgánica (M.O.) y relación C/N los cuales son características tanto del suelo como de los metales pesados contenidas. (Melgarejo et al., 1997; Rábago, 2011, p. 7; Lacarta et al., 2012; p. 12)

2.2.6.1. **Parámetros físicos.**

A. *Conductividad Eléctrica.* La conductividad eléctrica (C.e.) es un parámetro que mide la concentración de sales que se encuentren en el suelo de una solución de suelo que es agua más suelo a una temperatura determinada (Andrades y Martínez, 2014, p. 18). Por ello, CE por debajo de 0,6 dS/m (mmho/cm) señala pobreza de elementos nutritivos. El suelo normal suele llegar a 4 dS/m (mmho/cm). Por seguridad, si el análisis registra valores superiores de 4 dS/m, es recomendable realizar pruebas en el extracto de saturación, con mayor prioridad si el pH también es muy alcalino (Andrades y Martínez, 2014, p. 1 y Sono, 2018, p. 32).

Tabla 4:

Detalles de la conductividad eléctrica (C.e.)

Clasificación de la conductividad eléctrica en suelos dS/m (mmho/ cm)	
Muy ligeramente salino	<2
Ligeramente salino	2 – 4
Moderadamente salino	4 – 8
Fuertemente salino	8 – 16
Extremadamente salino	>16

Nota. Fuente: Adaptado de Garrido (1994) y Sono (2018).

B. *Textura.* De las propiedades físicas del suelo, el que mayor relevancia posee es la textura, ya que en este se expresa la distribución de tamaño de las partículas sólidas de las cuales el suelo está compuesto (Chavarría, 2011, p. 44); Obtenidos a partir de tierra fina de

tal manera que el porcentaje de arcilla, arena y limo del suelo determinará la clase de textural cual pertenece, esta información se puede obtener respecto al triangulo de textura. (Chavarría, 2011, p. 44; Andrades y Martínez, 2014, p. 15)

2.2.6.2. Parámetros químicos.

A. *pH del suelo.* El valor del parámetro pH en el suelo varía entre 5.1 (fuertemente ácido) a 9.5 (muy alcalino). Los suelos fuertemente ácidos (< 5.5) tienden a mostrar concentraciones altas y tóxicas de aluminio y manganeso. Los suelos muy alcalinos (> 8.5) tienden a disgregarse. En suelos muy ácidos (moderadamente) la actividad de los organismos del suelo es inhibida. El valor del pH ideal para cultivos se encuentra en 6.5 (Sono, 2018, p. 32)

Tabla 5:

Detalles de la reacción del suelo respecto al pH

Reacción del suelo (pH)	Valores
Fuertemente ácido	5.10 – 5.50
Moderadamente ácido	5.51 – 6.00
Ligeramente ácido	6.01 – 6.50
Neutro	6.51 – 7.30
Ligeramente alcalino	7.31 – 7.80

Nota. Fuente: Adaptado de Garrido (1994) y Sono (2018).

B. *Intercambio Catiónico.* La capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) de un suelo es influido por el porcentaje de arcilla y la materia orgánica (M.O.) que contenga. Los valores frecuentes en suelos varían en intervalos de 0 a 10 para suelos con poco contenido de arena y materia orgánica a mayores a 45 cmol (+) /kg respectivamente para suelos con mayor contenido en estos parámetros. El humus comprende valores de C.I.C que varían de 200 a 500 cmol (+) /kg lo cual los ácidos húmicos que desprenden son superiores que de los ácidos fúlvicos. Este valor tan alto es equilibrado por la baja concentración de humus contienen normalmente los suelos con relación a las arcillas. (Soriano, 2018, pp. 6-7)

Tabla 6:*Valores de la capacidad de intercambio catiónico*

C.I.C total cmol (+)/ kg	Nivel	Observaciones
0 – 10	Muy bajo	Suelo muy pobre; necesita aporte importante de materia orgánica para elevar C.I.C
10 – 20	Bajo	Suelo pobre; necesita aporte de materia orgánica.
20 – 35	Medio	Suelo medio
35 – 45	Medio alto	Suelo rico
Mayor de 45	Alto	Suelo muy rico

Nota. Adaptado de Soriano (2018).

C. Contenido de Materia Orgánica. La materia orgánica (M.O.) se origina tanto de la descomposición de los seres vivos que perecen sobre el suelo, como de la acción biológica de los siguientes organismos: microorganismos, insectos, lombrices en general, etc. Por otro lado, el humus producto de la descomposición de estos, comprende un abanico de sustancias de fuente muy diversas, lo cual brindan beneficios en la conservación, fertilidad y presencia de vida en los suelos. (Zeng et al., 2011). Estos coloides u sustancias existentes exponen además la carga negativa, hecho que les admite absorber cationes como H^+ y metálicos tales como: Calcio (Ca^{+2}), Magnesio (Mg^{+2}), Potasio (K^+) y Sodio (Na^+), en todo momento ser intercambiados también de forma reversible; por esta situación, estos coloides reciben el nombre de complejo absorbente. Finalmente, la M.O. en el suelo es un factor principal el cual establecen biodisponibilidad de los metales pesados (Zeng et al., 2011; Sono, 2018, p. 31)

D. Contenido de Carbonato. El carbonato ($CaCO_3$), es una sal muy poco soluble (0,0013 g / 100 ml H_2O) se h naturalmente en diferentes concentraciones. Su presencia juega un rol primordial en la disposición y estructura del suelo, si esta se halla en cantidades medias. Es empleada para neutralizar el pH como enmienda a suelos con atributos ácidos. No obstante, alcanza resultar problemático si su cantidad consigue aventajar la capacidad de adsorción en

el suelo, lo cual forma iones complejos insolubles ligado a otros elementos. (Sono, 2018, p. 30)

Tabla 7:

Contenido de Carbonatos

Clase	Contenido total de Carbonato (CaCO ₃)
Bajo	<1
Medio	1 - 5
Alto	> 5

Nota. Fuente: Adaptado de Garrido (1994) y Sono (2018).

E. Concentración de Potasio y Fósforo. El fósforo es el elemento que resulta limitante en los suelos mayormente; se absorbe sobre todo como el anión monovalente ortofosfato (H₂ PO₄⁻) y de forma lenta como anión divalente (HPO₄⁻²). La disponibilidad de este elemento de los suelos rurales es muy limitada ya que el contenido total de fósforo en los suelos fluctúa entre 0.01 – 0,2%. (Becerra et al., 2007, p.52; Ramos y Cabrera, 2020, p. 32)

Tabla 8:

Disponibilidad del fósforo en suelos

Nivel	Fosforo (ppm)	Clasificación
Bajo	<6	Pobre
Medio	7-14	Medio
Alto	>14	Alto (rico)

Nota. Fuente: Obtenido de la Norma Oficial Mexicana NOM-021[RECNAT] (2000)

Según Castillo (2005). El contenido de potasio disponible oscila entre los valores de 0.2 – 1 meq/100g de suelo

Tabla 9:*Disponibilidad de potasio en suelos*

Nivel	Potasio (ppm)
Bajo (Pobre)	<100
Medio	100 – 240
Alto	>240

Nota. Fuente: Anexo extraído del Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes [UNALM] (2020)

2.2.7. Sustrato

Según Chávez y Fuentes (2013) la sustancia orgánica o enmienda a utilizar debe tener un contenido en celulosa no inferior a un 20-25%, en forma de paja triturada u residuos vegetales u compost vegetal. Además de ello, el sustrato debe poseer vitaminas y minerales esenciales para asegurar un adecuado crecimiento a las lombrices. Esto evidencia, el aporte del sustrato evaluado por la enmienda a utilizar influye en la actividad microbiana respecto una alta tasa de crecimiento y reproducción y el efecto de la lombriz, con la producción de nutrientes proteicos y aumento de la biomasa de lombriz. (Chávez y Fuentes, 2013, p. 38 y Aira y Domínguez, 2010, p. 394).

Diferentes materiales orgánicos en la lombricultura son usados como sustratos para criar distintas especies de lombrices como es el caso de *E. foetida*, quienes en los procesos de alimentación y fragmentación de residuos orgánicos, elevan la actividad microbiana así como los índices de mineralización y descomposición de estos residuos, provocando una perturbación en las propiedades físico- químicas de los materiales e induciendo con ello un efecto de compostaje u humificación mediante el cual la materia orgánica inestable es oxidada y estabilizada (Haiba et al., 2014, p. 114).

Normalmente se emplea una mezcla de suelo (cantidades de tierra como base) con materia orgánica fresca lo que incluye residuos vegetales, estiércol (compost vacuno), etc

generalmente conlleva una relación de 3 a 1, y/o material orgánico compostado (humus de lombriz) con material fresco en proporción 2 a 1 respectivamente. (Román et al., 2013, p. 71).

Por otro lado, Ferruzzi (1987) en su libro del Manual de Lombricultura describió que las lombrices dependen de factores o parámetros que el suelo (sustrato) debe cumplir los cuales son: pH, temperatura, humedad. (Chávez y Fuentes, 2013)

2.2.7.1. Compost. El compostaje es el proceso por el cual la materia orgánica se estabiliza y descompone a partir del calor generado biológicamente, es decir, que este proceso netamente es una manera estabilización de un residuo (Barrena, 2006, p. 15). Se sabe también que después de este proceso de estabilización, el producto formado es el compost. Esencialmente, la materia orgánica (comprendida en el compost) en el suelo puede ser de las siguientes formas: en forma seca, como en el caso de las coberturas vegetales producto de los residuos de cosecha (paja o barbecho), en forma procesada, bien sea en presentación de compost, vermicompost, purines o estabilizados. (Román et al., 2013, p. 19).

2.2.7.2. Humus de Lombriz. El vermicompostaje o producción de humus originario de la lombriz de tierra es la consecuencia de la interacción entre las lombriz - microorganismos lo cual ellos son los encargados de la descomposición de los residuos. Favorecen la aireación, fragmentación y homogenización del sustrato, ya que, lo ajustan para la actividad microbiológica, incluso, cambian sus propiedades fisicoquímicas y biológica, la vermicompost se aplica como bioestimulantes que reducen los niveles de contaminación de suelos, debido a la acción de metales presentes en el suelo y una adaptación de los microorganismos al suelo contaminado (Wani et al., 2013, pp. 149-150). Se sabe humus de lombriz influye al proceso de biorremediación de plomo en el suelo; muestra también una relación baja entre carbono y nitrógeno (C/N) valor que determina facilidad en el proceso de humificación del medio en el que se encuentra (Febres, 2019, p. 58).

2.2.7.3. Tierra Preparada. Es la tierra de chacra mejorada con la adición opcional de compost y algo de musgo, en proporciones variables de acuerdo al uso y tiene una mayor fertilidad (física, química y biológica) (El Huerto, 2015, p. 4).

2.2.7.4. Parámetros del Sustrato

A. *pH del Sustrato.* El pH óptimo oscila en el rango de 7 a 8 para su desarrollo. Por el contrario, entre los valores 5 (pH ácido) a 8,4 (pH alcalino), siendo el óptimo 7 (neutro). Cada vez que se desea añadir un nuevo material orgánico se deberá determinar una prueba de acidez con el fin de poder vigilar su estado de descomposición y envejecimiento. Para este caso es indispensable contar con un medidor de pH de manera práctica se hace uso del papel tornasol o potenciómetro que ayudara a poder medir si el sustrato es ácido o básico. (Cajas, 2009, p. 20 y Castañeda, 2018, p. 9)

B. *Temperatura.* El crecimiento y desarrollo de lombrices se lleva a cabo bajo un rango apropiado de temperatura la cual estará en el intervalo de 12 a 25 °C, en etapa de verano si la temperatura esta alta se incurrirá a un riego más frecuente, manteniendo los lechos libres de mala hierba, y con ello se procura que las lombrices no migren en busca de un ambiente más ventilado. (Castañeda, 2014, p. 24).

C. *Humedad.* Para poder facilitar la ingesta de alimentos y el deslizamiento mediante los materiales es importante considerar una humedad del 80% ya que de no contar con una humedad adecuada podría provocar que la lombriz muera. Las lombrices se alimentan mediante la succión de su alimento, por ende, si carecen de humedad dificultaría que se lleve a cabo este proceso. En contraparte a esto, un exceso de humedad traería como consecuencia el empapamiento y una oxidación deficiente (Wilson Castañeda, 2014, p. 24 y Wendy Castañeda, 2018, pp. 8-9)

Tabla 10:

Parámetros físicos que alteran la calidad de vida de las lombrices de tierra

Parámetro	Muerte	Letargo	Producción de humus	Fase Óptima	Producción de humus	Letargo	Muerte
pH	<5	6.5	6.8	7.5	8	8.5	>9
Temperatura °C	0	7	14	19 - 20	27	33	>42
Humedad (%) *	<50	75	80	82.5	85	88	>90

Nota. Fuente: Adaptado de Chávez y Fuentes, 2013. * Capacidad de campo o humedad de campo respecto al suelo.

D. Nitrógeno total (%). El nitrógeno total (N) es esencial para el suelo, ya que su presencia depende especialmente de la vegetación, la actividad microbiana, condiciones climáticas, la topografía, el material parental, la actividad del hombre y el tiempo. Generalmente 99% a 95% del nitrógeno se encuentra combinación orgánica de la composición edáfica, una pequeña fracción, en combinaciones inorgánicas representadas por NH_4^+ en su forma catiónica, y como NO_2^- y NO_3^- en su forma aniónica; por otro lado, el nitrógeno total está determinado por el incremento de la concentración a causa de la pérdida de peso de este parámetro por consecuencia de la materia orgánica estabilizada. (Moreno y Moral, 2008, p. 33; Pellegrini, 2017, pp. 4-7)

Tabla 11:

Disponibilidad de Nitrógeno en los suelos.

Clase	% de Nitrógeno inorgánico del Suelo
Muy deficiente	<0,075
Deficiente	0,075 a 0,124
Moderadamente deficiente	0,125 a 0,149
Moderadamente provisto	0,150 a 0,199
Bien provisto	0,200 a 0,299
Muy provisto	<0,300

Nota. Fuente: Extraído de Pellegrini (2017).

2.2.8. *Espectrofotometría de Absorción Atómica*

El método de espectrometría se usa para llevar a cabo el análisis de átomos, es considerado un método fundamental para el análisis de metales. Esta técnica utiliza la adsorción de la luz para captar la cantidad de concentración de la fase gaseosa de átomos debido a que mayormente las muestras se encuentran en fase solida o liquida, deben ser vaporizados los átomos, así como los iones del analito a la flama o en un horno de grafito. La llama tiene una temperatura reducida que de por si no altera a los átomos de la muestra. La llama y el nebulizador son utilizadas para desolvatar y atomizar la muestra (Chevez, 2010, p. 52-53).

2.2.9. *Normativa Nacional e Internacional*

La normativa internacional nos indica una serie de valores predeterminados para uso de suelos agrícolas lo cual son comparadas con diferentes normativas de algunos países de América Latina y la Unión Europea, el contaminante analizado fue el plomo (Pb) en mg/kg “peso seco” en concentraciones de referencia totales evaluadas en la siguiente tabla.

Tabla 12:

Concentraciones de referencia totales de Plomo (Pb) en diferentes países

Países	Parámetros de Plomo (mg/kg) en PS	Normativa internacional
	Suelos de uso agrícola	
Chile - Macrozona norte (pH > 6.5)	75	
Chile - Macrozona norte (pH < 6.5)	50	NCh2952c-2004 (INN, 2004)
Chile - Macrozona norte (pH > 5)	50	
México	400	NOM-147- SEMARNAT/SSA1-2004
US	150	McGrath et al (1994)
Canadá	60	Lovell et al., 1998
Francia*	100	

Italia*	200	Directiva 86/278/EEC
España*	40	(Marmo, 2003)

Nota. Conjunto de normas internacionales. PS, peso seco * UE: países de la Unión Europea.

La normativa nacional indica una serie de procedimientos y bases en los cuales debemos tener en cuenta, la Guía de Muestreo de Suelos (2014) contemplado en el D.S. 002-2013-MINAM señala los criterios de muestreo puntual y el ECA suelos presentado en el D.S. 011-2017- MINAM en los cuales los valores en mg/kg de peso seco en suelo son determinados para suelos de uso agrícola; en donde, se desarrolla el ámbito periurbano y rural de Lima Metropolitana.

Tabla 13:

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo

Parámetros en mg/kg PS	Usos de Suelo			Métodos de Ensayo
	Suelo Agrícola	Suelo residencial/ Parques	Suelo Comercial/ Industrial y Extractivo	
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA3051

Nota. Fuente: Extraído del anexo I del D.S. 011-2017- MINAM; PS: Peso seco.

III. Métodos

3.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación es aplicada porque pretende resolver un problema a un corto plazo mediante la utilización de conocimientos adquiridos y acciones prácticas que permiten adquirir otros, después de la implementación metodológica sin precisar el desarrollo teórico y sus resultados. (Chávez, 2007, p.134 y Murillo, 2008, p. 159).

Además, la presente tesis de investigación “comprende un enfoque cuantitativo ya que recolecta datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento. Además, presenta un diseño experimental puro por la manipulación las variables y la concentración mediante grupo de control, equivalente al grupo experimental”. (Sampieri y Batista, 2014)

3.2. Ámbito temporal y espacial

La presente tesis se desarrolló en un tiempo de 8 meses desde el año 2021-2022, desde el mes de agosto hasta la presentación del Plan de Tesis en 1 mes y a partir del mes de setiembre constó de tres fases en 7 meses:

En la fase previa, se construyó un invernadero basado en una sombra reforzada por Aluzinc y el área encerrada por malla Rashell en todo el interior para evitar la proliferación de dípteros en los dispositivos de almacenamiento cuyas en las coordenadas UTM WGS84 precisaron 278918 m Este y 8870579 m Norte con una altitud relativa de 179.5 m.s.n.m. siendo la base necesaria para efectos de laboratorio, esta inició, a partir del mes de agosto del 2021.

La fase de campo, consistió en la obtención de las muestras de suelo agrícola con las siguientes coordenadas UTM – WGS84 con 281608 m Este y 8688335 m N del centroide de la zona de estudio (el día 15/10/21); en la preparación de los dispositivos de almacenamiento o cajas de madera para la biorremediación, preparación de los estándares y los suelos (sustrato

y simulado); incorporación de lombrices junto con el registro del comportamiento de los indicadores realizados durante los meses de octubre 2021 a enero del 2022.

La fase de laboratorio, esencialmente se centró en el análisis del laboratorio de las muestras de suelo experimental, interpretación y aplicación de la herramienta estadística para los resultados desde el mes de enero hasta el mes de abril del 2022.

3.3. Variables

Las variables consideraban para esta presente tesis fueron:

3.1.1. Variable independiente

Lombriz de Tierra (*Eisenia foetida*)

3.1.2. Variable dependiente

Suelos agrícolas contaminados

A continuación, se coloca la matriz de operacionalización de variables

3.1.3. Operacionalización de variables

<i>Variables</i>	<i>Marco Conceptual</i>	<i>Marco Operacional</i>	<i>Dimensión</i>	<i>Indicador</i>	<i>Escala</i>
<i>Variable Independiente:</i> <i>Lombriz de Tierra</i>	Las lombrices de tierra por vivir en contacto directo con el sustrato y por su condición de alimentarse por ingesta de sedimentos y materia orgánica en descomposición mientras va excavando galerías en el suelo, se encuentran continuamente expuestas a metales pesados (Cd, Hg, Pb y Cu), los cuales pueden ser bioacumulados con gran facilidad en sus tejidos; la bioacumulación dependerá, del tamaño corporal, estado fisiológico y reproductivo de los organismos (Podolak et al. 2011; Rana et al. 2013, Goswami et al. 2014)	Inicialmente se eligió el ambiente propicio en dispositivos de almacenamiento adecuado para el crecimiento y desarrollo de las lombrices “ <i>Eisenia foétida</i> ” la bioacumulación como factores como estado fisiológico (peso) y análisis reproductivo (población) son influenciados al inicio y final de los tratamientos en diferente tiempo de acción. Para llegar a medir el sustrato, comprende a las enmiendas aplicadas con compost en 7 kg en total: compost vacuno 5kg, material seco en 2 kg (compost vegetal) y homogeneizado 0, 30, 45 y 60 g de cal agrícola y mezclándose con 3 kg de suelo simulado (con suelo agrícola obtenido en las muestras) como base al inicio; respectivamente en realizará 03 repeticiones en 04 tratamientos; 01 tratamiento testigo dentro de cada dispositivo de almacenamiento.	Bioacumulación	Tiempo de acción	días
				Peso de las lombrices aplicadas	Kg
				Compost	Kg
			Sustrato	Temperatura	°C
				pH del sustrato	(1:1)
				Humedad del suelo	%
				N	%
	K ₂ O, P ₂ O ₅ , MgO y CaO				

<i>Variables</i>	<i>Marco Conceptual</i>	<i>Marco Operacional</i>	<i>Dimensión</i>	<i>Indicador</i>	<i>Escala</i>
<i>Variable Dependiente:</i> <i>Suelos agrícolas Contaminados</i>	Se denomina suelo contaminado aquel cuyas características físicas y químicas, han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias contaminantes depositadas por la actividad humana, en concentración tal que comporte un riesgo inaceptable para la salud humana o el medio ambiente. (Adaptado del D.S. N° 002-2013-MINAM)	Se simularon muestras de suelos preparados previamente de 3kg de tierra base cada uno, contaminados en soluciones de 0, 50 ,100 y 150 ppm/ Pb de los cuales se medirán sus parámetros físicos y químicos como suelo experimental con las que se midieron las concentraciones de Plomo inicial y final en 15, 30 y 45 días control a través de la biorremediación.	Concentración	Concentración de plomo inicial	mg/kg
				Concentración de plomo final	mg/kg
			Parámetros físicos	Conductividad eléctrica	dS/m
				Textura	%
			Parámetros químicos	pH del Suelo	(1:1)
				Intercambio Catiónico	Cmol (+) /kg
				Contenido de Carbonato	% CaCO ₃
				Materia Orgánica (M.O.)	mg/kg
				P y K	%

Nota. Tabla de Operacionalización de variables evaluadas en la presente tesis

3.4. Población y Muestra

Para efectos de la población se ha considerado la compra de 2,5 Kg (2200 a 2500 unidades aproximadamente) de biomasa de lombriz (*Eisenia foetida*), los cuales fueron adquiridos en el centro ecológico La Lombriz Feliz. Las lombrices adquiridas se contaron un total de 200 lombrices por dispositivo de almacenamiento en cada tratamiento (se detalla en la metodología).

La muestra representa la cantidad de suelos contaminados con plomo por la actividad antrópica en suelos agrícolas del AA.HH. Las Flores de Carabayllo (Huacoy) – distrito de Carabayllo, en una cantidad total de 15 kg de suelo. La toma de muestras se realizó de acuerdo a la guía de muestreo de suelos del Ministerio del Ambiente en la cual se hace referencia a la delimitación de la zona de estudio tomando 14 muestras totales (es decir en 6 puntos perimetrales y 8 puntos en el fondo) para el mezclado homogéneo, cuarteo, y la preparación de los suelos sustratos y la experimentación en cada uno de los dispositivos de almacenamiento (cajas de madera).

3.5. Equipos e Instrumentos

Tabla 14:

Instrumentos

Instrumento	Metodología / Marca	Descripción	Fase
Fichas de diagnóstico para lombrices de tierra	Observación	Registro de datos de los indicadores de bioacumulación de la lombriz de tierra	Fase previa
Fichas de determinación de parámetros físicos y químicos	Observación	Registro de concentración de los parámetros	Fase de laboratorio
Hoja de campo para rotulación de muestras	Guía para el Muestreo de Suelos Contaminados (2014)	Determinación de la información de la toma de muestras enviadas al laboratorio	Fase de campo
Hoja de campo para muestreo de suelos	Guía para el Muestreo de Suelos Contaminados (2014)	Determinación de la información de la toma de muestras	Fase de campo

Nota. Fuente: Adaptado de Pérez, 2010.

Tabla 15:

Equipos

Instrumento	Metodología / Marca	Descripción	Fases
Aspersor de contaminante en solución de $Pb(C_2H_3O_2)_2$	Q.P. (Químicamente puro)	Recipiente contenido de 1L de solución $Pb(NO_3)_2$ para efectuar los suelos experimentales	Fase previa
Medidor de suelos	AMTAST	Instrumento de medición digital de suelo 4 en 1: humedad, pH, temperatura y Luz	Fase de campo
Balanza analítica (gramos, oz)	SF-400	Medición de las muestras y/o sustratos en Kg	Fase de campo
Espectrofotometría de Absorción Atómica*	EPA – 3050 B	Medición de los metales pesados como el Pb en suelos mg/kg	Fase de laboratorio

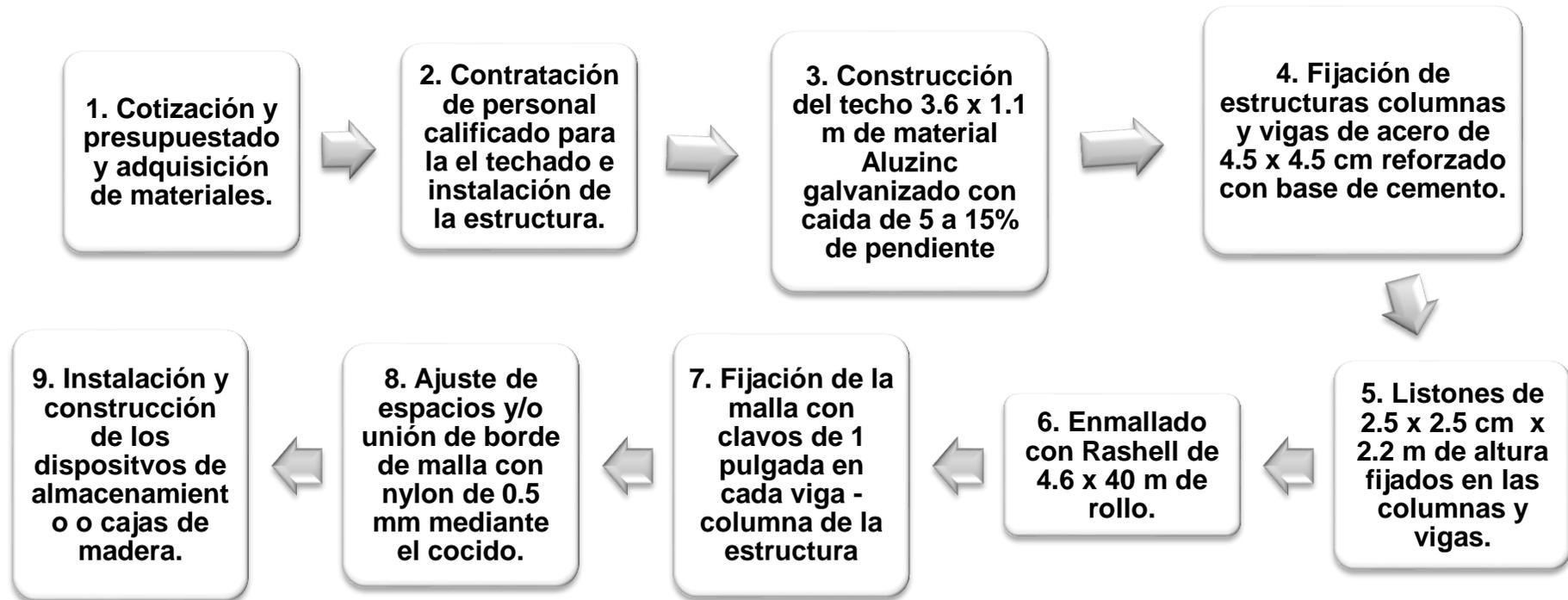
Nota. Fuente: Adaptado de Pérez, 2010.

3.6. Procedimientos

3.1.4. Fase previa

La construcción del invernadero se basó en una sombra de estructura metálica reforzada por Aluzinc y el área encerrado por malla Rashell (cielo raso, paredes excepto el suelo) en todo el interior para evitar la proliferación de dípteros en los dispositivos de almacenamiento; consta de un diseño piloto de invernadero para un sistema de 12 cajas de madera (dispositivos de almacenamiento) las cuales fueron acondicionadas las lombrices *Eisenia foetida* adquiridas del centro ecológico La Lombriz Feliz; con dimensiones de 0,5 x 0,5 x 0,4 m de profundidad, las bases son protegidas con un plástico agrícola negro y adaptando un sistema de drenaje a base de tubos que solucione los lixiviados y la aireación.

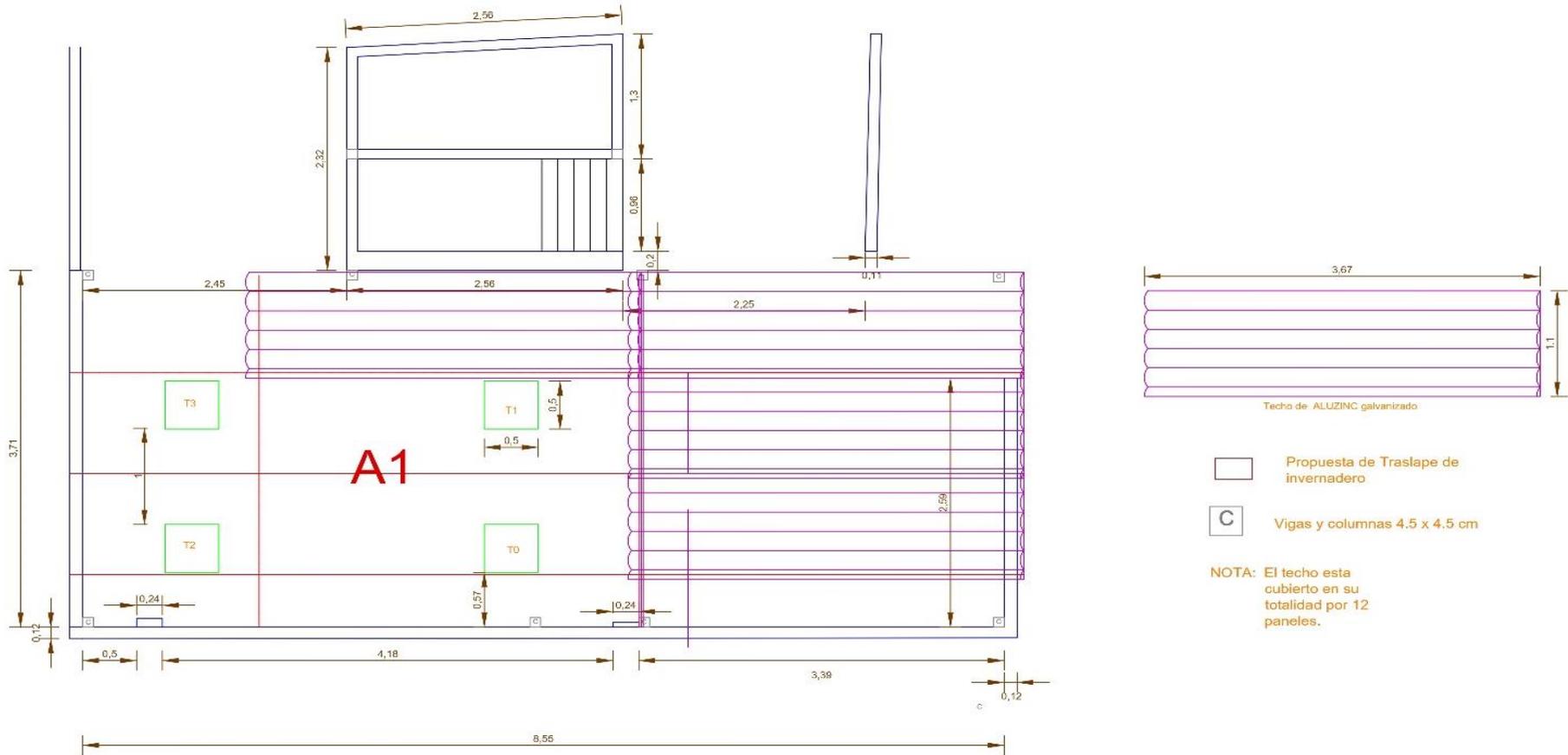
Figura 4: Diagrama de flujo de la construcción del invernadero y los dispositivos de almacenamiento



Nota. Todos los puntos son realizados en la Fase previa de la investigación. Fuente: Elaboración propia.

Figura 5:

Vista planta de la implementación del invernadero “una caída”.



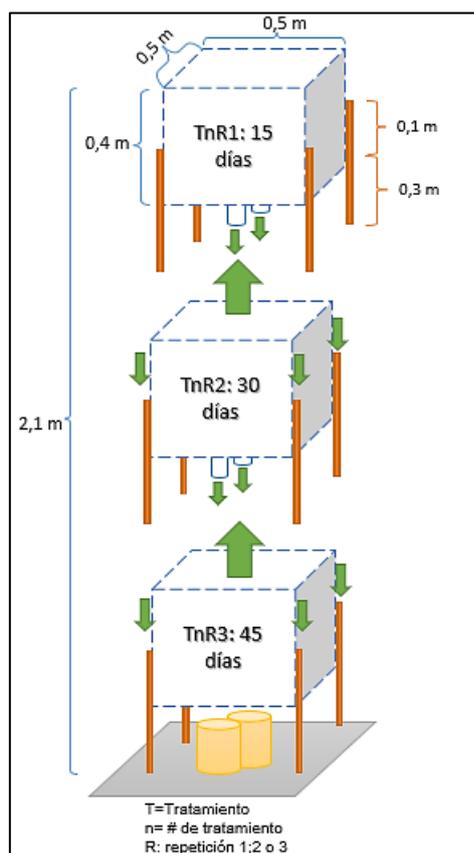
Nota. Para visualizar el plano a mayor detalle en el Anexo B; Las planchas de Aluzinc galvanizado fueron cubiertas en toda el área del invernadero. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6:*Construcción del invernadero y los dispositivos de almacenamiento*

Nota. A la izquierda la construcción de la malla protectora del invernadero y a la derecha las paredes que constan los dispositivos o cajas de madera. Fuente: Elaboración propia.

El diseño experimental se atribuye al etiquetado de cada caja de madera lo cual se clasifica en cuatro tratamientos (T) el T0 (es el tratamiento blanco o testigo) y los T1, T2 y T3; del cual cada tratamiento constará de 3 repeticiones (R1, R2 y R3) que involucra esencialmente el tiempo de acción (días) de la lombriz de tierra en biorremediar. (Flores, 2018 y Barbaran, 2017).

Figura 7: Estructura de las columnas de tratamiento experimenta



Nota. El esquema a detalle se evidencia en el Anexo D. Vista esquemática del diseño de las columnas experimentales y dimensionado. Fuente: Elaboración propia.

3.1.5. Fase de campo

La fase de campo consistió en la obtención de 14 muestras de suelos (ver el Anexo E) en puntos de muestreos en los cuales se representa la cantidad de suelo contaminado con plomo por la actividad antrópica expresados en 15 kg en total. Se realizaron en base a la metodología de la guía de muestreo de suelos del Ministerio del Ambiente D.S. N° 002–2013-MINAM en referencia a zona el área de estudio con 0,5 ha y un perímetro de 298 m (las coordenadas del centroide fueron de 281608 m Este y 8688335 m N) el muestreo tuvo 6 puntos perimetrales y 8 puntos en el fondo, posteriormente se realizó una mezcla homogénea de las muestras y se añadió al pesaje de los suelos sustratos; para cada uno de los dispositivos de almacenamiento.

Figura 8: Evidencia fotográfica del muestreo de suelo agrícola



Nota. A la izquierda la zona de estudio de 0,5 ha a muestrear; a la derecha la obtención de suelo agrícola por medio del método del cuarteo del punto PM-1. Fuente: Elaboración propia.

La incorporación de las lombrices comprendió una cantidad estándar 200 lombrices en los sustratos (comprendiendo T0, T1, T2 y T3). Además, con el fin de adaptar las lombrices al nuevo entorno y evitar cualquier estrés, antes del inicio del experimento, las lombrices se mantuvieron en el suelo bajo prueba durante 10 días, (Mostafaii et al., 2015); la prueba de caja en solo la primera repetición (R1) dentro del sustrato la cual consistió en colocar 50 lombrices en las cajas de almacenamiento con el alimento u sustrato que se va a proporcionar a la lombriz. Finalizando las 24 horas se contaron las lombrices vivas y si hubo más de 50%, se procedió con la experimentación. Ya que al no realizarse pueden ocurrir accidentes catastróficos en el cultivo. (Adoptado de Chávez y Fuentes, 2013).

Luego, se prepararon los sustratos dentro de cada caja de madera de las cuales comprende los tratamientos con las enmiendas en las siguientes proporciones: el compost vacuno 5 kg y 2 kg material seco (como base consistió en la incorporación de compost vegetal mezclado homogéneamente con una fina capa de muestra de suelo agrícola); el cual se regó

previamente para controlar la salinidad y 3 kg de suelo simulado preparado previamente. Opcionalmente, se añadió cal o yeso en 1%, 1.5% y 2% (tomando como base 3 kg del suelo simulado) como medida de equilibrar el pH, no incluye el T0. (Mostafaii et al., 2015 y Flores, 2018).

Por otro lado, se tuvo 4 recipientes adicionales etiquetados como (S1, S2, S3 y S4) los cuales se agregaron las soluciones de 0, 50, 100 y 150 ppm/Pb de contaminante como $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$ diluido cada 100 ml a una base aproximada de 3 kg de suelo simulado para cada caja de madera; que consiste en la mezcla homogénea de 1 kg de tierra preparada, 1 kg de suelo agrícola de la muestra obtenida y 1 kg tierra de jardín y humus de lombriz. (Lacarta et al., 2012; Flores, 2018 y Simpalo, 2020).

Finalmente, se procedió homogeneizar el suelo simulado con las soluciones Pb en solución con cada tratamiento, excepto el T0, para efectuar el proceso de biorremediación aplicando después las lombrices en los sustratos. Se realizará un primer análisis de laboratorio (TnR0) respecto a los parámetros físicos y químicos según los indicadores propuestos del suelo experimental. La distribución final se presenta en 4 columnas (priorizando las concentraciones de suelos simulados en S1, S2, S3, S4) de 03 cajas de madera tomando como nivel de base R1 sucesivamente hasta R3 (Mosquera, 2016).

Figura 9:*Construcción del invernadero y los dispositivos de almacenamiento*

Nota. A la izquierda la construcción de la malla protectora del invernadero y a la derecha las paredes que constan los dispositivos o cajas de madera. Fuente: Elaboración Propia.

Por otra parte, la calidad del alimento se determinó con residuos orgánicos intrínsecos en los suelos sustratos, colocando una porción subsuperficie del sustrato, para el mantenimiento de la humedad se realizó un riego inter diario (siempre y cuando se verificó que el suelo no este lo suficientemente húmedo) de aprox. 1L de agua, la aireación fue al menos cada 7 días. Adicionalmente, se tomó en cuenta el registro y monitoreo la temperatura, humedad y pH (tanto del suelo sustrato como el suelo simulado) dentro del suelo sustrato base, dichos parámetros sirven para mantener el estado óptimo de las lombrices y por ende la biorremediación en los resultados a través de instrumentos de observación (Flores, 2018)

Figura 10:

Presentación final de una de las columnas de tratamiento del experimento

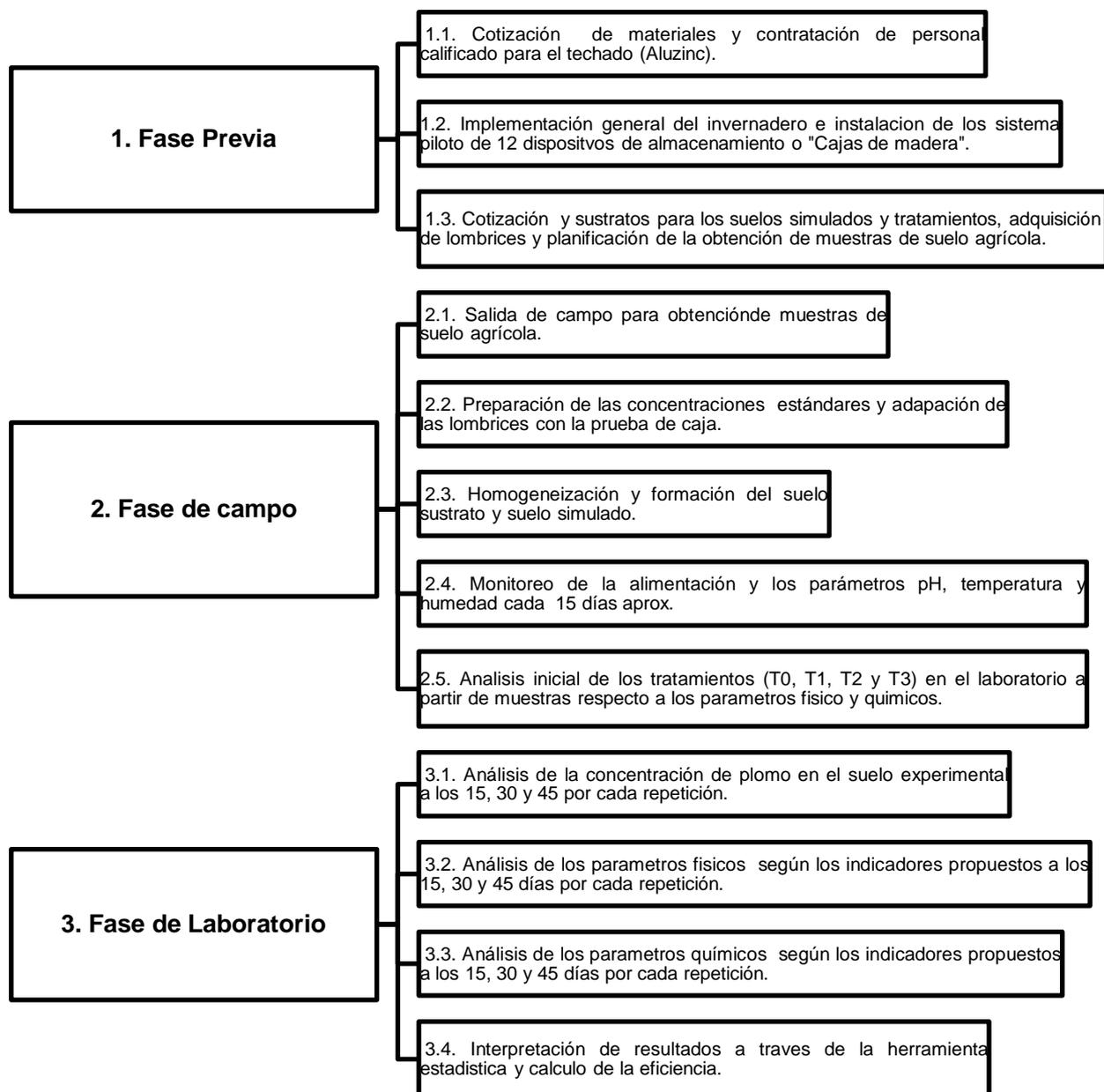


Nota. Las presentaciones fueron 3 tratamientos. Aquí solo expone un tratamiento como ejemplo. Fuente: Elaboración propia.

3.1.6. Fase de Laboratorio

Cada repetición de los tratamientos T0, T1, T2 y T3 se analizaron según su tiempo de acción al inicio (0 días) y final (15, 30 y 45 días), lo cual se envió las muestras de 1 kg al al Laboratorio Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego – UNALM; para la determinación de la concentración de plomo en el suelo (mg/kg), sus parámetros físicos y químicos en el suelo experimental. Además, la interpretación y aplicación de la herramienta estadística para los resultados al inicio y al final calculando la eficiencia adaptada de Priyadarshane y Das (2020), describen el proceso de desorción de suelo experimental y la biosorción del metal potencialmente tóxico (Pb) en la siguiente relación:

$$\% \text{ Eficiencia de biosorción} = \frac{\text{Concentración inicial} - \text{Concentración final}}{\text{Concentración inicial}} \times 100$$

Figura 11:*Etapas del análisis procedimental*

Nota. Fuente: Elaboración propia.

3.7. Análisis de Datos

Para efectos de cumplimiento de los objetivos de la tesis, se utilizó la estadística inferencial, con el software estadístico MiniTab versión 19. En primera instancia para establecer los resultados de un de vista descriptivo del cual para la recopilación y descripción de resultados se utilizaron tablas y gráficos. Respecto al análisis inferencial este estudio se aplicó la prueba del ANOVA herramienta estadística que compara 4 grupos independientes; en vista de que hubo un testigo y 3 tipos de riego con diferente concentración de metal (Pb).

3.8. Consideraciones Éticas

Esencialmente la investigación respetará el derecho de autoría de los autores mencionados en esta presente tesis, citados y referenciados debidamente. Además, el documento pasa un control de calidad aplicándose el APA séptima versión y se somete a la normativa vigente con respecto a la resolución N°2900-2018-CU-UNFV Reglamento de Grados y Títulos de la presente casa de estudios. Por el hecho de trabajar con especies control (*Eisenia foetida*) no hay ningún riesgo, o abuso ético de las especies por introducción a otro ecosistema.

IV. Resultados

4.1. Caracterización del suelo Sustrato y suelo Simulado

En la fase de Laboratorio el invernadero con coordenadas UTM en 278918 m Este y 8870579 m Norte con registró un clima soleado con una temperatura promedio de 24,8°C, tomando en cuenta las características básicas del suelo como elemento base para el desarrollo de la investigación teniendo en consideración su composición de lo cual se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla 16:

Resultados de Características del suelo Sustrato

	N	P2O5	K2O	MgO	CaO	C.E.	pH
	%	%	%	%	%	dS/m	
TnR0	1.65	1.48	1.35	0.56	2.38	12.41	7.79

Nota. Análisis rutinario de Materia Orgánica Total realizado en el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego [UNALM], (2020). Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17: Resultados de Características del suelo Simulado

Análisis de Rutina físico - químico								
Campo	C.E.	Análisis Mecánico			pH		M.O.	
Cod. De muestra	ds/m relación 1:1	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura	Relación 1:1	%	
TnR0	5.72	71.68	21.28	7.04	Franco arenoso	6.95	17.68	
P	K	CaCO3	Cationes Intercambiables					
ppm	ppm	%	CIC total	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺ H ⁺
58.32	29000	1.67	13.89	8.53	2.5	0.49	2.36	—

Nota. Análisis de caracterización completa rutinario de suelo realizado en el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio ambiente y Fertirriego [UNALM], (2020). Fuente: Elaboración propia.

4.2. Parámetros Físicos y Químicos del suelo experimental

Se ha realizado la compilación de la información de datos de muestreo tomados en campo y su tabulación de la siguiente manera:

Tabla 18:

Datos de puntos de muestreo analizados en la Investigación

Código de Etiqueta	Color del suelo:		Textura:		Franco - arenoso	
	Profundidad (cm)	Pardo oscuro	Fecha de muestreo		pH	T (°C)
		Hora de Muestreo				
TnR0	5 cm	14:16	5/01/2022		7.79	29
T0R0	10 cm	12:22	20/01/2022		7	28
T1R0	10 cm	13:54	15/01/2022		7	30
T2R0	10 cm	13:58	15/01/2022		6.9	29
T3R0	10 cm	14:02	15/01/2022		7	29
T0R1	10 cm	15:44	31/01/2022		7	32
T1R1	10 cm	15:52	31/01/2022		6.7	31
T2R1	10 cm	16:00	31/01/2022		6.8	31
T3R1	10 cm	16:04	31/01/2022		6.7	30
T0R2	10 cm	12:41	15/02/2022		7	30
T1R2	10 cm	12:48	15/02/2022		7	29
T2R2	10 cm	12:54	15/02/2022		7	29
T3R2	10 cm	13:17	15/02/2022		7	30
T0R3	10 cm	12:16	2/03/2022		7	29
T1R3	10 cm	12:21	2/03/2022		6.9	27
T2R3	10 cm	12:33	2/03/2022		7	28
T3R3	10 cm	12:50	2/03/2022		6.9	29

Nota. Muestreos espaciados realizados para obtener datos de las características de la muestra en donde se realizó la investigación. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19:
Datos Físico - Químicos de la muestra tratada en la investigación

N° Camas de compostaje		1 (T0R1)	2 (T0R2)	3 (T0R3)	4 (T1R1)	5 (T1R2)	6 (T1R3)	7 (T2R1)	8 (T2R2)	9 (T2R3)	10 (T3R1)	11 (T3R2)	12 (T3R3)	Total Prom
Fecha de instalación		7/08/2021												
1er	Aireado	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
mantenimiento	Armado	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Prueba de	Fecha	18/01/2022	18/01/2022	18/01/2022	18/01/2022	18/01/2022	18/01/2022	18/01/2022	18/01/2022	18/01/2022	18/01/2022	18/01/2022	18/01/2022	18/01/2022
sobrevivencia	(+ ó -)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)
2do	Humedad	Dry	Dry+	Wet+	Wet+	Wet	Wet+	Wet+	S.D.	Wet+	Wet+	Wet+	Wet+	Wet
	pH	6.6	7	6.6	6	6.6	6.6	6.4	5.5	6.8	6.5	6.6	6.7	6.49
	T°C	26	25	27	27	28	28	27	S.D.	28	28	28	29	27.36
3er	Humedad	Dry	Wet	Wet+	Wet	Dry	S.D.	Nor	Wet+	Wet	Wet+	Wet	Nor	
	pH	7	6.7	5.9	7	7	6.9	7	7.3	6.8	6.7	6.9	6.8	6.83
	T°C	26	25	25	26	26	S.D.	26	27	25	25	26	25	25.64
4to	Humedad	Dry	Wet+	Dry	Wet	Dry								
	pH	7	6.5	6.8	6.8	6.9	6.7	7	6.9	6.7	6.9	7	7	6.85
	T°C	26	26	25	27	27	27	27	27	26	28	27	27	26.67
5to	Humedad	Dry	Dry	Wet+	Wet+	Dry	Dry+	Dry+	Dry	Wet	Dry	Wet	Nor	
	pH	6.8	6.2	6.2	6.5	6.6	6	6.8	6.9	6.9	6.8	5.8	6.7	6.52
	T°C	29	27	27	29	27	27	30	26	26	27	27	27	27.42
Fecha de	Fecha	2/03/2022	2/03/2022	2/03/2022	2/03/2022	2/03/2022	2/03/2022	2/03/2022	2/03/2022	2/03/2022	2/03/2022	2/03/2022	2/03/2022	2/03/2022
termino	(+ ó -)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	
Total, final(kg)		6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	78

Nota. Se analizó las condiciones de las características físicas - químicas del sustrato contenido del suelo experimental en cada tratamiento. Se registra los siguiente: SD= sin dato. La humedad se determinada por el equipo: Dry+, Dry, Nor, Wet y Wet+ (muy seco, seco, normal, húmedo y muy húmedo). Véase Anexo F. Fuente: Elaboración propia.

4.3. Cantidad de lombrices para remoción de plomo en suelos

Se trató teniendo en cuenta diferentes camas con 200 lombrices (tomando como base un promedio y dimensión de revisiones bibliográficas) como cantidad estándar para hacer el tratamiento de remoción de plomo en suelos divididos en muestras específicas.

Figura 12:

Concentración de lombrices aplicadas en el tratamiento



Nota. Se verifica las lombrices en sus camas adecuadas para ser aplicable en uno de los tratamientos pertinentes. Fuente: Elaboración propia.

Figura 13:

Incorporación de sustrato y lombrices aplicados



4.4. Resultados obtenidos del tratamiento

Se aplicó el tratamiento de remoción de plomo en suelos contaminados y se obtuvo los siguientes resultados

Tabla 20:

Resultados del tratamiento aplicado con lombrices para remover plomo en suelo agrícola.

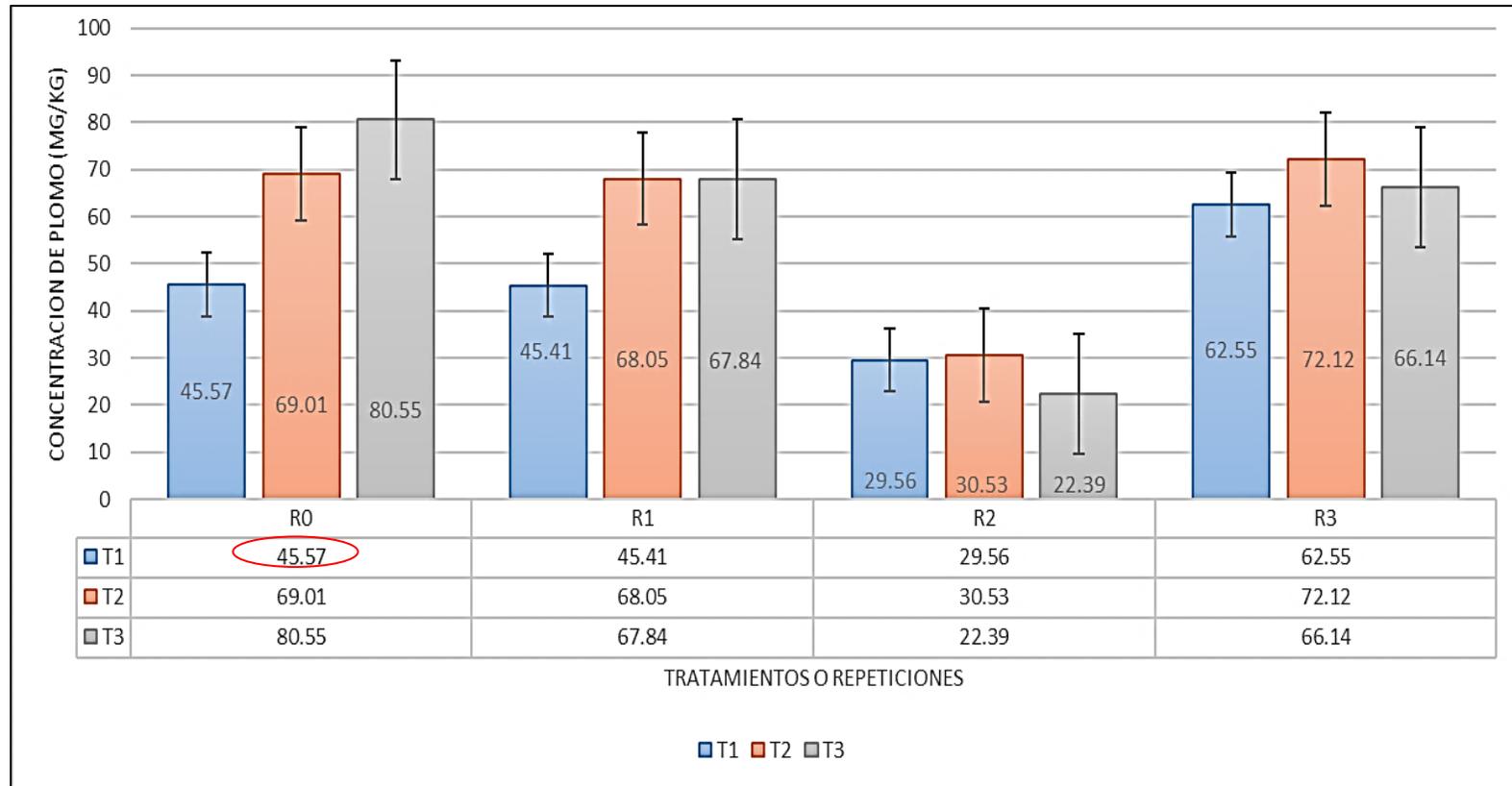
\bar{i} (mg/Kg o ppm)	Repeticiones	T0	T1	T2	T3	Eficiencia de tratamiento (%)					Cantidad de lombrices
						Repeticiones	T0	T1	T2	T3	
0	R0	0	45.57	69.01	80.55	R0	0	0	0	0	200
70.43	R1	0	45.41	68.05	67.84	R1	0	35.525	1.391	15.779	200
69.01	R2	0	29.56	30.53	22.39	R2	0	58.029	55.760	72.204	200
80.55	R3	0	62.55	72.12	66.14	R3	0	11.188	-4.501	17.890	200
	PROM		45.77	59.93	59.23	PROM		34.914	17.548	35.291	

Nota. Se efectuó la consistencia de datos en el R0T1 con 70.43 mg/kg por cuestiones de calibración. Por otro lado, se observa una eficiencia negativa lo cual indica una tasa de letalidad en el T2R3 (color amarillo). En conclusión, se puede visualizar una mayor eficiencia en 30 días (color verde). Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, se puede interpretar los siguientes resultados en la siguiente figura:

Figura 14:

Resultados de tratamiento de remoción de Plomo por medio de lombrices de tierra

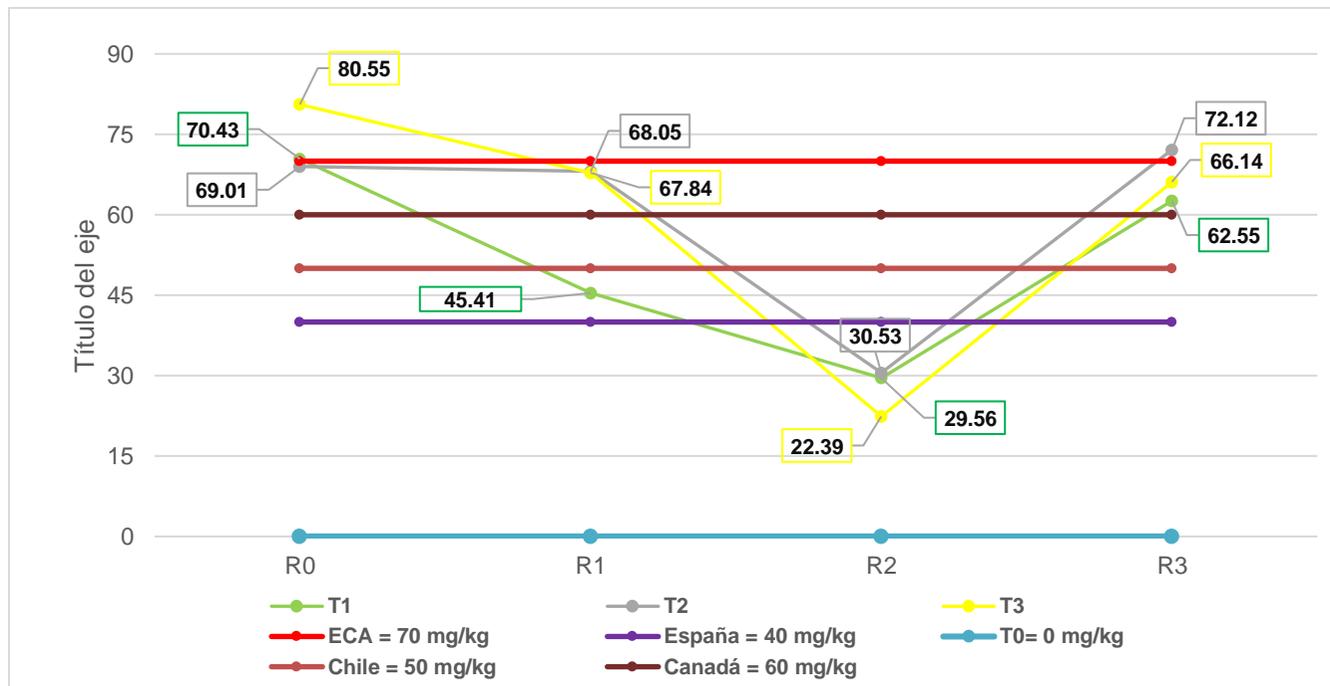


Nota. Resultados obtenidos en bruto, sin tratamiento y calibración. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 11 se observa la comparación de los resultados calibrados (TOR1) obtenidos en todos los tratamientos, con la comparación de los niveles máximos en países representativos de América como Chile, Canadá y Perú y/o la Unión Europea como España, la calidad en todos los tratamientos en el R2 lograron estar dentro de los límites gracias a la biorremediación con lombrices.

Figura 15:

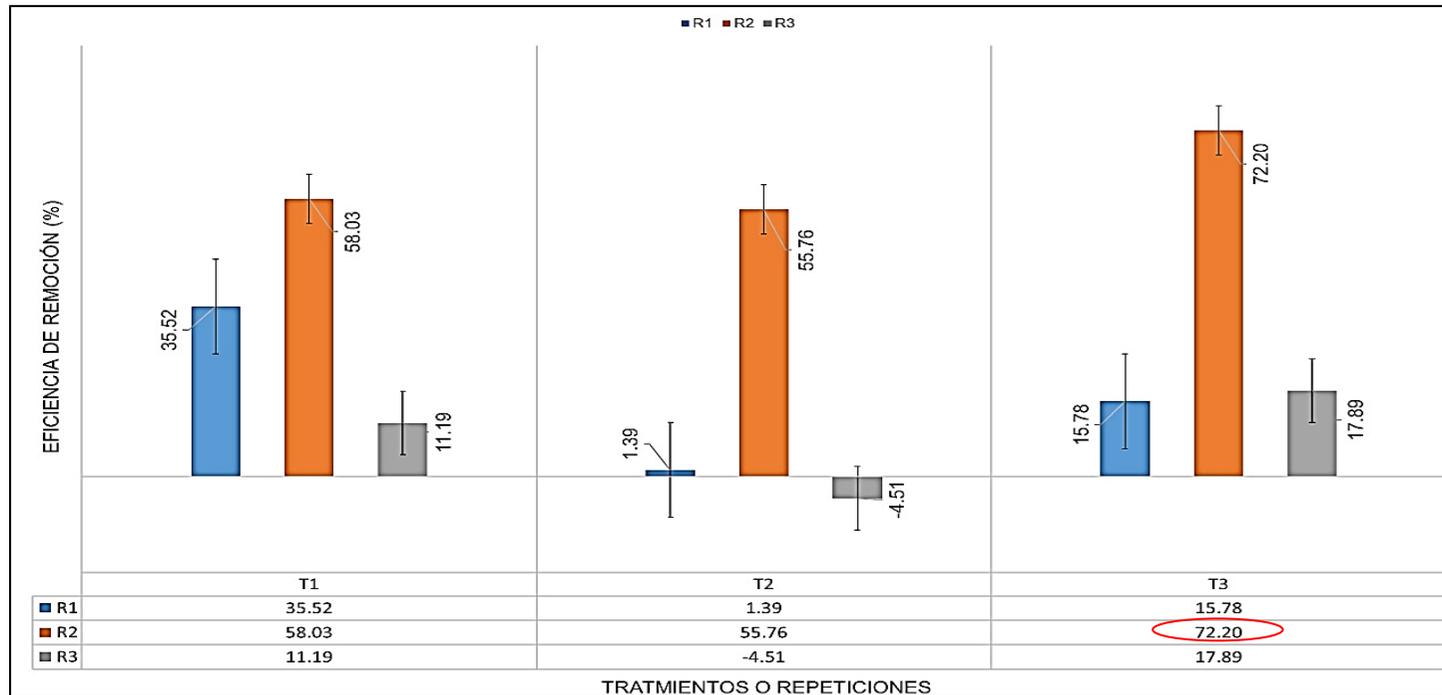
Resultado de tendencias de concentraciones límite de diferentes países.



Nota. Concentraciones comparadas con los ECA - Suelos agrícolas (DS 011-2017-MINAM) y los niveles de máximos de los países representativos de UE y América. Fuente: Elaboración propia.

Figura 16:

Resultados de la Eficiencia de Remoción de Plomo por medio de lombrices de tierra



Nota. Resultados de la eficiencia evaluada efectuando la formula según Priyadarshane y Das (2020). Fuente: Elaboración propia.

En la figura 12 se observa que la mejor eficiencia es de 72.20% que pertenece al tratamiento 3 repetición 2 (T3R2), a su vez según se aprecia en la Tabla 18 la mejor eficiencia se presenta en las repeticiones 2 de cada tratamiento (a los 30 días de biorremediación) obteniendo resultados aceptables. Por otro lado, se evalúa una tasa de letalidad marcada en el tratamiento 2 repetición 3 (T2R3) a los 45 días de biorremediación.

4.5. Análisis Estadístico

Para analizar los parámetros involucrados se tomó en cuenta los resultados analizados para lo cual serán analizados el método DCA, el cual se basa en una prueba ANOVA de un solo factor el cual se aplicó a cada resultado de concentración de sustrato de muestra de suelo con el fin de verificar la verosimilitud de las hipótesis planteadas

4.1.1. Análisis estadístico realizado en las concentraciones

Para ello se agrupó de la siguiente manera los resultados obtenidos para procesar la información de manera estadística

Tabla 21:

Data para Aplicación Estadística para los resultados obtenidos en la remoción de Plomo

Tratamiento	Repetición	Concentración de Pb	Residuos
T1	R0	45.57	-0.2025
T1	R1	45.41	-0.3625
T1	R2	29.56	-16.2125
T1	R3	62.55	16.7775
T2	R0	69.01	9.0825
T2	R1	68.05	8.1225
T2	R2	30.53	-29.3975
T2	R3	72.12	12.1925
T3	R0	80.55	21.32
T3	R1	67.84	8.61
T3	R2	22.39	-36.84
T3	R3	66.14	6.91

Nota. Aplicación estadística de la remoción y verificación de residuos en el Análisis de Varianzas. Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el DCA en la tabla 16 que corresponde a la aplicación del tratamiento y su afectación en la disminución de plomo por medio de lombrices se tiene:

4.1.1.1. Prueba de Normalidad para los errores (AD).

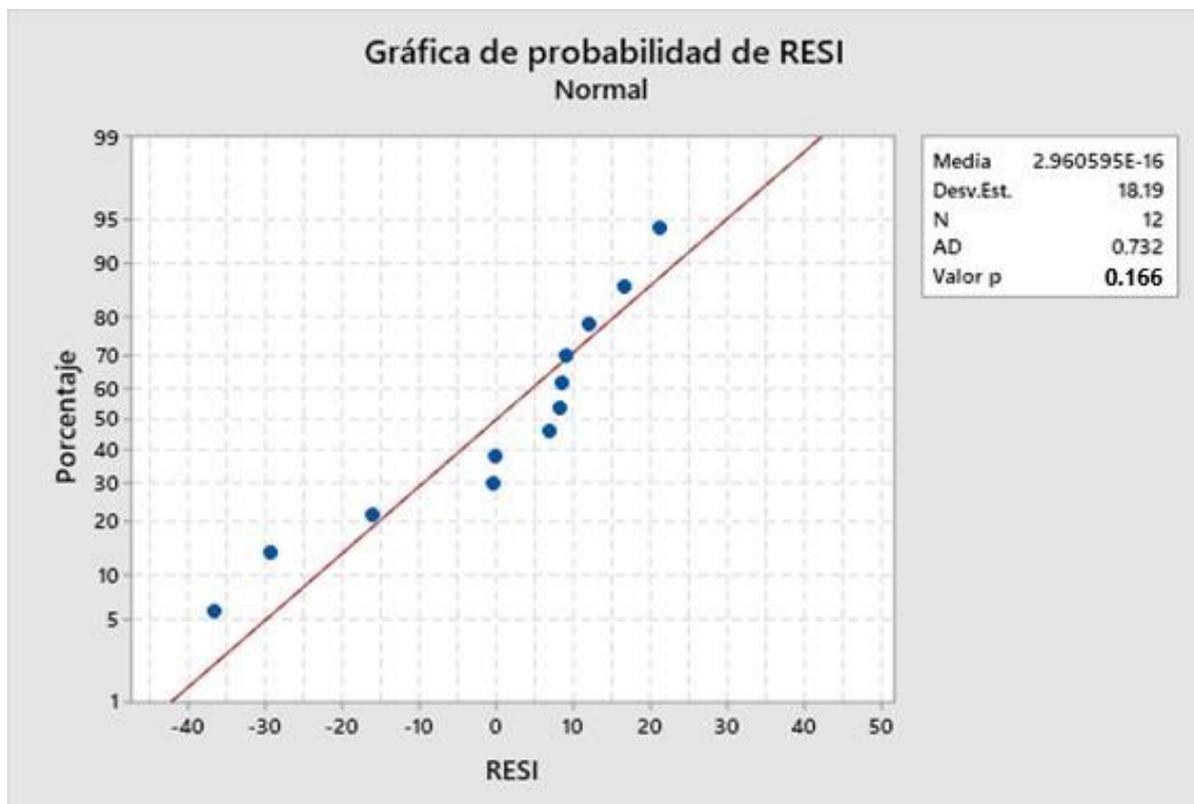
Se aplican los siguientes argumentos:

H0: Los residuos se distribuyen normalmente

Ha: Los residuos no se distribuyen normalmente

Figura 17:

Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD) para la disminución de Plomo con tratamiento a base de lombrices



Nota. Elaborado en MINITAB versión 2019

De lo calculado el valor $p > 0.05$ ($p = 0.166$) como también el indicador (AD= 0.732), por consiguiente, se acepta la hipótesis nula, argumentando que con una significancia del 5% se acepta el supuesto que los residuos o errores presentan una distribución Normal.

4.1.1.2. Homogeneidad de Varianzas

Se plantea:

H0: Las varianzas son iguales.

Ha: Al menos una varianza es diferente.

Calculando el índice de Barlet $t= 0.99$ y p valor = $0.610 > 0.05$, no se rechaza la hipótesis nula por consiguiente existe homogeneidad de Varianzas.

4.1.1.3. Prueba hipótesis DCA

- Al menos un tratamiento es más efectivo que los demás al remover plomo en suelo por medio de lombrices.

H0: Los tratamientos no presentan diferencias significativas entre si

Ha: Los tratamientos presentan diferencias significativas entre si

Teniendo en cuenta el coeficiente $F= 2.23$ y un p -valor = 0.004 y sabiendo que p -valor < 0.05 , se decide rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alterna es decir los tratamientos presentan diferencias significativas entre sí, es decir existe un tratamiento más eficiente a la hora de remover plomo del suelo con lombrices.

4.1.1.4. Prueba de comparación o efectividad de métodos (Test de

Tukey). La prueba de Tukey se genera a partir del siguiente postulado:

H0: $\mu_i = \mu_j$

Ha: $\mu_i \neq \mu_j$

Por lo que se tiene:

Tabla 22:

Agrupación información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Tratamiento	N	Media	Agrupación
T2	4	59.9275	A
T3	4	59.2300	A
T1	4	45.7725	B

Nota. Las medias que no comparte una letra son significativas diferentes Fuente: Elaboración propia

De lo que se desprende que el tratamiento T1 al poseer una media menor esto quiere decir que en el proceso de remoción de plomo en el suelo con lombrices es más efectivo.

4.6. Contrastación De La Hipótesis

La contrastación de la hipótesis nos determinara si la proposición es VERDADERA o FALSA y su fundamentación respecto a la experiencia obtenida en la Fase de Campo y Laboratorio.

Tabla 23:

Contrastación de Hipótesis de Investigación

Hipótesis General	Argumentación	Contrastación
La lombriz de tierra es significativamente eficiente para la biorremediación de suelos contaminados con Plomo, a nivel de laboratorio, 2022.	La verificación estadística y los resultados obtenidos manifiestan que la aplicación de lombrices de tierra para remoción de plomo es efectiva, por lo cual se puede afirmar la premisa	Verdadera
Hipótesis Especificas	Argumentación	Contrastación
La lombriz de tierra es significativamente eficiente sobre la concentración en suelos con plomo	Según los resultados obtenidos y con una significancia menor al 5% se puede afirmar que la eficiencia promedio de aplicar lombrices de tierra en suelos contaminados con plomo es 72.20% por lo cual se puede afirmar la premisa planteada.	Verdadera
La lombriz de tierra es significativa sobre los parámetros físicos de suelos contaminados por plomo	Según el análisis realizado se puede afirmar que los parámetros físicos del suelo determinan el tiempo de acción de las lombrices de tierra y en la investigación realizada estos favorecen la supervivencia de las lombrices de tierra para remover plomo en el suelo	Verdadera
La lombriz de tierra es significativa sobre los parámetros químicos de suelos contaminados por plomo	De la misma manera los parámetros químicos del suelo favorecen el desarrollo del sustrato y realiza la función de remoción de plomo en las lombrices de tierra dando las condiciones adecuadas para una efectiva biosorción de plomo.	Verdadera

Nota. La argumentación se fundamentó a la experiencia y criterios planteados por el investigador. Fuente:

Elaboración propia

V. Discusión de Resultados

En la tesis presentada se evalúa el potencial remediador de la lombriz *E. foetida*, empleándose estándares de concentraciones diferenciadas; y considerándose parámetros físico-químicos; según Pérez (2017) quien emplea a la misma especie de lombriz para evaluar una variedad de metales, incluyendo el plomo (Pb) del suelo sustrato y experimental, los parámetros físicos y químicos totales se observan en la Tabla 14 y 15 de la presente tesis. Por otro lado, la metodología empleada por Lacarta et al. (2012); incluye parámetros físico- químicos de los cuales están forma parte el pH y la temperatura obteniéndose un promedio de 7.9 (ligeramente alcalino) y 23.4 °C; si bien se trabajó con una especie de lombriz diferente (*Aporrectodea caliginosa*) no quita su papel biorremediador ante otro metal de similar toxicidad como el cadmio (Cd). Sin embargo, Serpa (2017), quien también trabajó con la especie *Eisenia foetida* determina parámetros físicos y químicos; los cuales forman parte y comprenden variables de pH de 6.7 (ligeramente ácido) y temperatura con 13.8°C, de los cuales se contrastan en la Tabla 16 y 17 calculándose variables mencionadas suelo sustrato experimental con un promedio de 6.8 (ligeramente ácido) y 28.1 °C; para efectos de conservar la dinámica poblacional de la lombriz.

Las lombrices de tierra aplicadas (Figura 8 y 9) en la experimentación son eficientes en la bioacumulación del plomo (Pb); en comparación con otras especies fitorremediadoras como *Z. may* y *V.faba* ya que estas pueden absorber otros metales (Pb y Cd) según Lemtiri (2015); lo cual refuerza la biorremediación planteada por estos autores Podolak et al., (2011); Rana et al. (2013), Goswami et al.(2014). Sin embargo, lo expuesto por Mostafaii et al. (2015) indica el aumento de mortalidad de lombrices producto del cromo (Cr) y cadmio (Cd) debiéndose a una dosis baja de materia orgánica un lo cual contrasta con nuestra investigación.

La lombriz de tierra tuvo una eficiencia de 72.20 % con diferentes concentraciones iniciales de (50, 100 y 150 ppm) de Pb, a comparación Flores (2018) con una reducción de mercurio (Hg) en suelo experimental de 83%, registrando una mayor toxicidad y valor inicial fijo de 167.5 mg/Hg. Incluso Barbaran (2017) obtuvo una eficiencia mayor de 82.8% con valor inicial fijo de 20.85 mg/Cr. Por otro lado, la aplicación de cantidad de lombrices de la tesis fue constante (200) esto se debe al área en donde se dispuso la lombriz a comparación de Barbaran (2017) y Flores (2018) con diferentes concentraciones (5, 10 y 15 kg de lombriz) y cantidades (100,200 y 300) respectivamente; estos valores influyen en la eficiencia de remoción. Sin embargo, se evidencia en la Tabla 18 de la tesis que la eficiencia evaluada se ciernen lo más cercano a la realidad por concentraciones diferentes en el suelo contaminado por Pb a cada tratamiento. Por otro lado, se tuvo un nivel de calidad de los suelos aceptable (Figura 11) en el R2 se evaluó las concentraciones más bajas gracias a la biorremediación con lombrices Según Mosquera (2016) evalúa con mayor precisión una eficiencia del 65% de Hg suministrado a diferentes concentraciones en el sustrato (compost), el autor difiere con el sustrato empleado en la investigación, aplicándose diferentes tipos (compost vacuno y vegetal más tierra preparada), en la cantidad del sustrato empleado y el diseño del sistema piloto (Figura 6); lo cual compensa la complejidad a los suelos de uso agrícolas de Lima.

Al evaluarse el tiempo de acción propuesto (15, 30 y 45 días) a partir del día 30 se registró una disminución en la dinámica poblacional de la lombriz, se puede inferir que estas disgregaron los metales; explicándose este comportamiento por los autores Edwards y Lano, 2004; Peijnenburg y Vijver, (2009). Asimismo, Loza (2007) y Mendoza e Iannacone (2021) refuerzan esta hipótesis; siendo la concentración letal media (CI50_{7 días}) de la *Eisenia foetida* con un valor desde 21.63 mg/kg (se evalúa la resistencia) con dosis teóricas de 32 a 40 ppm de plomo) iniciales y 1.96 mg/kg (se evidencia mayor toxicidad) con dosis de 74.3 ppm de Pb, cercanos a este valor existe mayor mortalidad y evasión de la dinámica poblacional de lombrices. Sin embargo, Vera (2013), indica que la lombriz es resistente al plomo, independientemente de su pH, se evidencia un valor bajo de pH en la tabla 17 y una marcada resistencia a la toxicidad del Pb en la Figura 12 hasta los 30 días.

VI. Conclusiones

- Los resultados obtenidos en la Tabla 18 y la verificación estadística en la Tabla 21, indican que la aplicación de lombrices de tierra para remoción de plomo (Pb) es efectiva para los suelos de uso agrícola en la zona de estudio de Lima validando la hipótesis propuesta en la presente tesis.
- Se concluye con una confianza mayor al 95% que la eficiencia promedio de aplicar lombrices de tierra en suelos contaminados con plomo (Pb) es 72.20%; de los cuales hubo mayor eficiencia a los 30 días del tratamiento 3 repetición 2 (T3R2) se obtuvo una reducción de 80.55 mg/kg a 22.39 mg/kg; evidenciándose una disminución de 58,16 mg/kg de plomo. Por otro lado, se evaluó una eficiencia menor en las repeticiones 3 (a los 45 días) de cada tratamiento con una tasa de letalidad mayor en el T2R3; se debe a que las lombrices disgregaron el plomo al suelo por la toxicidad presentadas en esa cantidad de tiempo de acción dependiendo también de los parámetros físico-químicos.
- Se concluye que los parámetros físicos previamente evaluados son significativamente eficientes porque determinan la acción de las lombrices de tierra durante el tiempo de biorremediación en donde influyeron las variables de la supervivencia como el pH en 6.77 y la temperatura (C°) en 26.77 del suelo experimental de la lombriz, favoreciendo la remoción del plomo (Pb) en el suelo agrícola.
- Finalmente, se concluye que los parámetros químicos son significativamente eficientes ya que denotan su función de remoción de plomo en el suelo experimental debido a la aplicación del contenido sustrato (de suelos sustratos y simulados) adecuado para favorecer y dar las condiciones químicas para una efectiva biosorción en el suelo agrícola por medio de lombrices.

VII. Recomendaciones

- Se recomienda proponer un nuevo sistema piloto de dispositivo de almacenamiento y aumentar la cantidad de muestras a 3 por cada repetición, considerando el costo-beneficio de la experimentación para una mejor optimización en la supervivencia de la lombriz; por ende, una eficiencia obtenida con mayor exactitud.
- Se recomienda la extracción de las lombrices después de la biorremediación ya que éstas contienen altas concentraciones de metal potencialmente tóxico (Pb); si considerando que, en el mismo sistema piloto a partir de los 30 días, se debe optar por aplicar un método de recuperación de metales o reutilizarse para procesos de biorremediación. Siendo, no recomendable la introducción de las lombrices en la cadena trófica, el consumo humano o agrícola.
- Considerar como alternativa una biorremediación mixta desde la inoculación de lombrices al sistema piloto propuesto hasta la obtención de vermicompost, para evaluar otros estudios sobre la dinámica poblacional, precisando una disposición final para captar el metal de las lombrices y o mejorar la calidad de los suelos respecto a los ECA de suelos.
- Considerar la replicación de la biorremediación propuesta en la presente tesis, en diferentes regiones del país con características edáficas, topográficas y climáticas particulares.

VIII. Referencias Bibliográficas

- Aira, M., y Dominguez, J. (2010). Las lombrices de Tierra y los microorganismos: Desentrañando la caja negra del vermicompostaje. *Acta Zoológica mexicana* (nueva serie) (2), 385-395. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57515556029>
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades [ASTDR]. Resumen de Salud Pública; Plomo. Agosto 2007. USA.
- Alcaino Concha, G. (2012). Análisis y comparación de tecnologías de remediación para suelos contaminados con metales. Santiago: Universidad de Chile. Recuperado el 10 de junio de 2021, de http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/113010/cf-alcaino_gc.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Alloway, B. J. (2013). Heavy metals and metalloids as micronutrients for plants and animals. *Heavy metals in Soil*, XXII, 195-209, doi: https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7_7
- Andrades, M. y Martínez, E. (2014). Fertilidad del Suelo y Parámetros que la definen (Tercera ed.). La Rioja, España: Universidad La Rioja.
- Chávez, N. (2007). *Un sistema integral de investigación educativa en la Universidad. II Jornadas Nacionales de Investigación*, 38-60, Maracaibo, Universidad del Zulia, Facultad de Humanidades y Educación
- Chevez Araujo, C. I. (2010). *Cuantificación de plomo, mercurio y cadmio en agua de consumo humano de cinco comunidades de El Salvador por espectrofotometría de absorción atómica*. Recuperado el 16 de octubre de 2019, de http://ri.ues.edu.sv/2370/1/Cuantificaci%C3%B3n_de_plomo%2C_mercurio_y_cadmio_en_agua_de_consumo_humano_de_cinco_comunidades_de_El_Salvad

or_por_espectrofotometr%C3%ADa__de_absorci%C3%B3n_at%C3%B3mica.pdf.

- Barbarán Cruz, J. S. (2017). *Reducción de Cromo en suelos contaminados por agroquímicos utilizando lombrices de tierra (Eisenia foetida) en el Centro Poblado Huarabi- Canta; 2017*. Lima: Universidad César Vallejo,
- Barrena Gómez R. (2006). *Compostaje de residuos orgánicos. Aplicación de técnicas respirométricos en el seguimiento del proceso*. Barcelona: Fundación privada Studis del medi ambient del Mollet de Valles.
- Batjes N. H. (2000). *Soil vulnerability to diffuse pollution in central and eastern Europe*. Italia: FAO and ISRIC.
- Bazán H., Cristobal L., Jave J., y Benites E. (2020). *Electrorremediación de suelos agrícolas contaminados con plomo, Carabayllo*. Revista ECIPerú; 17(1). 34-39, doi: 10.33017/RevECIPeru2020.0006/
- Becerra, S., Navia, S., Ñustez, C.; (2007) *Efecto de niveles de fósforo y potasio sobre el rendimiento del cultivar 'Criolla Guaneña' en el departamento de Nariño*. Revista Latinoamericana de la Papa, 14(1), 51-60.
- Beltrán-Pineda, M. y Gómez-Rodríguez, A. (2016). *Biorremediación de Metales Pesados Cadmio (Cd), Cromo (Cr) y Mercurio (Hg), Mecanismos Bioquímicos e Ingeniería Genética: Una Revisión*. Revista Facultad de Ciencias Básicas, 12(2), 172–197. Recuperado de: <http://doi.org/10.18359/RFCB.2027>.
- Beibei Liu, Chunyuan Wu, Pan Pan, Yiqing Fu, Zhenli He, Lin Wu, Qinfen Li, *Remediation effectiveness of vermicompost for a potentially toxic metal-contaminated tropical acidic soil in China*. Ecotoxicology and Environmental Safety, Volume 182, (2019), 109394, ISSN 0147-6513. Matscheko, N., Lundstedt, S., Svensson, L., Harju, J., y Tysklind, M. (2002). *Acumulación y eliminación de*

16 compuestos aromáticos policíclicos en la lombriz de tierra (Eisenia fetida).

Toxicología y química ambiental, 21, 1724-1729.

Cachada, A., Rocha-Santos, T., y Duarte, A. C. (2018). *Chapter 1 - Soil and Pollution:*

An Introduction to the Main Issues. (A. Cachada, T. Rocha-Santos, y A. C. Duarte,

Edits.) Soil Pollution, 1-28, doi://doi.org/10.1016/B978-0-12-849873-6.00001-7.

Cajas Sánchez S. (2009). *Efecto de la utilización de aserrín en combinación con estiércol*

bovino como sustrato en la producción de humus de lombriz Eisenia foetida

(Lombriz roja californiana). Ecuador: Escuela Superior Politécnica de

Chimborazo.

Castañeda Cubides, W. (2014). *Implementación agroecológica de la lombricultura como*

corrector de suelo y renovación de praderas en los municipios de Tiribita,

Guateque y Sutatenza. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Ciencias

agrícolas, pecuarias y medio ambiente. Garagoé: ECAPMA.

Castañeda Quilcaro, W. (2018). *Uso de la Lombriz Roja (Eisenia Foetida) en lodos*

activados de la PTAR “San Antonio de Carapongo” y residuos orgánicos para la

producción de humus- Lima 2018. Universidad Cesar Vallejo, Ingeniería. Lima:

Facultad de Ingeniería.

Castillo Alegría, Y. G. (2010). *Evaluación química toxicológica de plomo en suelo de*

Lima Metropolitana. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Castillo Cerna (2005). *Selección y Calibración de Indicadores Locales y técnico para*

evaluar la degradación de los suelos Laderas, en la Microcuenca Cuscamá el

Tuma – La Dalia Matagalpa [Trabajo de Diploma]. Universidad Nacional

Agraria – Nicaragua. Recuperado de:

<http://repositorio.una.edu.ni/1094/1/tnp35c352.pdf>.

- Cerrón Munive, R. V. (2018). *Recuperación de suelos degradados por contaminación con metales pesados en el Valle del Mantaro mediante compost de Stevia y Fitorremediación*. Lima: EPG - UNALM.
- Chavarría Araúz, F. J. (2011). *Edafología 1 [Primera ed.]*. Caldas, Colombia: Espacio Gráfico Comunicaciones S.A.
- Chavez Caranza, C. R., y Fuentes Umanzor, A. E. (2013). *Determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del lixiviado obtenido del estiércol de bovino utilizando Eisenia foetida*. Universidad de El Salvador, Química y Farmacia. San Salvador: Facultad de Química Farmacia.
- Chávez Quispe, A. (2018). *Determinación de niveles de plomo en pobladores adultos del Asentamiento Humano "Virgen de Guadalupe", distrito Mi Perú, de la Provincia Constitucional del Callao*. Ventanilla, Callao: UNMSM.
- Chimwamurobe, P. M., Kamona, A., Mapani, B., Mapaure, I., Mileusnić, M., y Ružičić, S. (2014). *Assessment of agricultural soil contamination by potentially toxic metals dispersed from improperly disposed tailings, Kombat mine, Namibia*. Journal of Geochemical Exploration, 409-420. doi:10.1016 / j.gexplo.2014.01.009
- Condeña Naventa, E. A. (2017). *Recuperación de suelos contaminados con plomo mediante el uso de biocarbón de bagazo de caña de azúcar en el parque Chota del AA. HH Ramón Castilla – Callao 2017*. Callao: Universidad Cesar Vallejo.
- Contreras M., Cuba S., Rojas A.; (2020). *Eficiencia del compostaje y vermicompostaje en la biorremediación de suelos contaminados con cadmio y plomo por pasivos ambientales*. Universidad Nacional del Callao. Facultad de ingeniería ambiental y de recursos naturales.
- Datos de Observatorio de salud Global, [GHO], (2020). *Intoxicación por plomo*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>

- Díaz, W. (2016). *Estrategia de gestión integrada de suelos contaminados en el Perú*.
Revista Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y
Ciencias geográficas, 19(38), 103–110.
<https://doi.org/10.15381/iigeo.v19i38.13575>
- Duffus John, H. (2002). "*Heavy metals" a meaningless term? (IUPAC Technical Report)"*
Pure and Applied Chemistry, 74(5). pp. 793-807. Doi:
10.1351/pac200274050793.
- Edwards, C., y Lanno, R. (2004). *Soil animals in detoxification and bioremediation, organic waste treatment and ecosystem restoration: earthworms as an example*.
XIVth International Colloquium on Soil Zoology and Ecology: Abstracts (6), 180.
- Edwards, P. a. (1992). *Choice of earthworm species for laboratory tests*. En G.-S. e.
(eds.), *Ecotoxicology of Earthworms*, Hants: Intercept Ltd, 36-43.
- El Huerto (2015). *Sustratos para propagación y siembra en invernaderos*. Recuperado
de:
[http://www.lamolina.edu.pe/hortalizas/Ense%C3%B1anza/Clases%20PROPA/S
PP.4.SUSTRATOS.pdf](http://www.lamolina.edu.pe/hortalizas/Ense%C3%B1anza/Clases%20PROPA/SPP.4.SUSTRATOS.pdf)
- Febres Flores, S. E. (2019). *Remediación de suelos contaminados con plomo (Pb) mediante el empleo de Girasol (Helianthus annuus) y el estiércol de lombriz roja (Eisenia foetida) en condiciones controladas*. Universidad Nacional Agustín de Arequipa, Ingeniería de Procesos. Arequipa: Facultad de Ingeniería.
- Ferruzzi C. (1987). *Manual de Lombricultura*. (pp. 138). Editorial Mundiprensa. ISBN:
8471141612.
- Flores Guzmán, C. M. (2008). *Determinación de bioacumulación de plomo y cadmio mediante absorción atómica en Alyssum murale, Tecoma Stans y Nicotiana glauca colectadas en la comunidad minera de Maconi. Santiago de Queretaro*.

Recuperado el 16 de octubre de 2019, de
<http://ri.uaq.mx/bitstream/123456789/4710/1/RI001756.pdf>

Flores, E. L. (2018). *Análisis comparativo de la biorremediación de suelos contaminados con mercurio por la actividad minera, aplicando tecnología vermicomposta*. Puno: EPG - Universidad Nacional de Altiplano.

Garrido Valero, S. (1994). *Interpretación de análisis de suelos*. Madrid. Rivadeneyra.

Goswami, L., Sarkar, S., Mukherjee, S., Das, S., Barman, S., Raul, P., . . . Bhattacharya, S. S. (2014). *Vermicomposting of Tea Factory Coal Ash: Metal accumulation and metallothionein response in Eisenia fetida (Savigny) and Lampito mauritii (Kinberg)*. *Bioresource Technology*, 166, 96-102. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2014.05.032>

Guauque Sanchez, D. M. (2017). *Comparación del proceso de vermicompostaje con la especie Eisenia fetida desde la variación de residuos orgánicos*. Recuperado el 16 de octubre de 2019, de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16549/GuauqueSanchezDianaMarcela2017.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Guzman F. y Somarriba R. (2004). *Guía de lombricultura*. Dirección de Investigación, Extensión y Postgrado (DIEP). Nicaragua

Haiba, E., Ivask, M., Olle, L., Peda, J., Kuu A., Kutti, S., y Nei, L. (2014). *Transformation of Nutrients and Organic Matter in Vermicomposting of Sewage Sludge and Kitchen Wastes*. *Revista de Ciencia Agrícola*, VI (2), 114-118. doi:10.5539 / jas.v6n2p114

Hernández Castellanos, B. (mayo de 2013). *Uso de lombrices de tierra en la remediación de suelos contaminados por hidrocarburos*. Recuperado el 16 de octubre de 2019, de

<https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/32992/hernandezcastellanos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hernández R., Fernández C. y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6a. ed.). México D.F.: McGraw-Hill.

Lacarta, J., Navarro, E., Jiménez, J., y Muñiz, S. (2012). *Respuesta fisiológica de la comunidad bacteriana en suelos contaminados por cadmio y el papel de la lombriz (A.caliginosa) como posible biorremediador*. Universidad de Zaragoza. Aragón: Escuela Politécnica Superior de Huesca.

Lenntech B.V. (marzo de 2020). *Plomo - Pb*. Obtenido de Tratamiento y purificación del agua:

<https://www.lenntech.es/periodica/elementos/pb.htm#:~:text=Elemento%20qu%C3%ADmico%2C%20Pb%2C%20n%C3%BAmero%20at%C3%B3mico,adquirir%20un%20color%20gris%20mate.&text=Es%20relativamente%20resistente%20al%20ataque%20de%20los%20%C3%A1cidos%20sulf%C3%ARico%20>

Melgarejo P, M. R., y Ballesteros, M. I. (1997). *Evaluación de algunos parámetros fisicoquímicos y nutricionales en Humus de lombriz y Compost derivados de diferentes sustratos*. Revista Colombiana de Química, 26(2), 11-18.

Ministerio de Ambiente [MINAM]. (2013). *Estándares de Calidad para suelo*. Recuperado el 16 de octubre de 2019, de <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2015/02/PPT-ECA-Suelos.pdf>

Ministerio de Ambiente [MINAM]. (2014). *Guía para el Muestreo de suelos*. Lima: Dirección General de Calidad Ambiental. Recuperado el 16 de octubre de 2019.

Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo (2 diciembre, 2017). Normas Legales N° 1593024. Diario oficial El Peruano.

- Moreno Casco, J., y Moral Herrero, R. (2007). *Compostaje* [Primera ed.]. Madrid, España: Editorial Mundi-Prensa.
- Mosquera Córdoba, T. (2016). *Eficiencia de lombricompostaje en la biorremediación de suelos degradados por la minería a cielo abierto en el municipio de Unión Panamericana, Departamento de Chocó*. Colombia: Universidad de Manizales.
- Mostafaii, G. R., Aseman, E., Asgharnia, H., Akbari, H., Iranshani, L., y Sayyaf, H. (2016). *Eficiencia del gusano de tierra Eisenia fetida bajo el efecto de materia orgánica para la biorremediación de suelos contaminados con cadmio y cromo*. Revista Brasileña de Ingeniería Química, 33(4), 827-834.
- Murillo, W. (2008). *La investigación científica*. Consultado el 18 de abril de 2008 de <http://www.monografias.com/trabajos15/invest-científica/investcientífica.shtm>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (marzo de 2020). *Diez sustancias químicas que constituyen una preocupación para la salud pública*. Obtenido de Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas: https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/chemicals_phc/es/
- Peijnenburg, W. G. y Vijver, M. (2009). *Lombrices de tierra y su uso en el modelado lógico (tóxico) ecológico*. [J. Devillers, Ed.] Temas emergentes en ecotoxicología (principios, enfoques y perspectivas), (2), 177-204, doi: 10.1007/978-1-4419-0197-2_7
- Pellegrini, A. (2017). *Macronutrientes del Suelo*. Nitrógeno. Recuperado de: http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/35406/mod_resource/content/1/TEMA%2012%20-%20NITROGENO.pdf.
- Podolak, L., Piotrowska, E., Klimek, L., Klimek, B., Kruk, J. y Plytycz, B. (2011). *Effects of nickel, zinc, and lead-contaminated soil on burrowing rate and coelomocytes of the earthworm*. Folia Biologica, LIX, 91-97, doi:10.3409/fb59_3-4.91-97

- Priyadarshane, M., y Das, S. (2020). *Biosorción y eliminación de metales pesados tóxicos por bacterias que toleran metales para la biosorción de la contaminación por metales: una revisión completa*. [G. Palmisano, Ed.]. Revista de Ingeniería, IX(1), 81, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104686>
- Rábago, J. A. (2011). *Capacidad de Amortiguación de la contaminación por plomo y cadmio en los suelos de la comunidad de Madrid*. Universidad Complutense de Madrid, Edafología. Madrid: Facultad de Farmacia.
- Ramos, L. A. y Cabrera, D. E. (2020). *Efecto del compost de residuos orgánicos y estiércol vacuno en suelo franco arenoso de la Asociación Vivienda La Bloquetera - Villa María del Triunfo* [Tesis pregrado, Universidad Peruana Unión].
https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3286/Leonor_Tesis_Licenciatura_2020.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Rana, A., Dutta, A., Naaz, M., Kumari, S. y Farooqui, S. (2013). *Uptake and kinetics of bioaccumulation of heavy metals (lead and cadmium) from contaminated soil using Eisenia foetida*. Investigaciones y reseñas: Journal of Ecology, II, 8-14. doi: <https://doi.org/10.37591/rrjoe.v2i2.972>
- Restrepo, E. A., Orrego, C. E., y Cardona Alzate, C. A. (2007). *Lombricultura* [Primera ed.]. (R. G. Botero Saza, Ed.) Manizales, Colombia: Artes Gráficas Tizan Ltda.
- Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M. y Pennock, D. (2019). *La contaminación del suelo: una realidad oculta*. Roma: FAO.
- Román, P., Martínez, M., y Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina*. Santiago de Chile, Chile: FAO.
- Ruesta Campoverde, N. A. (2013). *Manual Técnico Lombricultura "Techo a Dos Aguas"* [Primera ed.]. Lambayeque, Perú: Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).

- Sarmiento G., y Febres S. (2021). *Lead recovery in artificially contaminated agricultural soil as a remediation strategy using sunflower and vermicompost*. Revista Chapingo Serie Horticultura, 27(3), 199-212. doi: 10.5154/r.rchsh.2021.04.007.
- Sherameti, I. y Varma, A. (2010). *Soil Heavy Metals: Soil Heavy Metals*. 10.1007/978-3-642-02436-8.
- Sepúlveda Venegas, A. (2015). *Evaluación de la adición de materiales de origen orgánico para la remediación de suelos contaminados con metales pesados*. Universidad de Barcelona, Química Analítica. Barcelona: Universitat de Barcelona.
- Simpalo Villar, M. M. y Vejarano Paredes, A. (2020). *Vermicompostaje como estrategia de reducción de metales pesados en lodos residuales*. Universidad Cesar Vallejo, Escuela profesional de Ingeniería Ambiental. Lima: Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
- Slizovskiy, I. B. y Kelsey, J. W. (2010). *Esterilización de suelos afecta el secuestro relacionado con el envejecimiento y la biodisponibilidad de p,p'-DDE y antraceno para las lombrices de tierra*. Contaminación Ambiental, 158, 3285-3289.
- Somarriba, R. J. y Guzmán Guillen, F. (2004). *Guía de Lombricultura*. [D. F. Alemán, Ed.]. Managua, Nicaragua: Dirección de Investigación, Extensión y Postgrado (DIEP).
- Sono Mera, R. (2018). *Interpretación de los resultados de análisis físico-químicos de sedimentos de la cuenca río Piura*. Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Piura: Programa Académico de Ingeniería Civil.
- Soriano Soto, M. D. (2018). *Concepto de Capacidad de Intercambio iónico en el suelo*. Valencia: Universitat Politècnica de València.

- Tello, L., Jave, J. y Guerrero, J. (2018). *Análisis de Cuantificación de plomo en suelos de parques recreacionales de la ciudad de Lima - Perú*. *Ecología Aplicada*, 17.
- Trejos Vélez, M. y Agudelo Cardona, N. (2012). *Propuesta para el aprovechamiento de lodos en la planta de Tratamiento de aguas residuales "Comestibles La Rosa" como alternativa para generación de biosólidos*. Universidad Tecnológica de Pereira, Ciencias Ambientales. Pereira: Facultad de Ciencias Ambientales.
- Udovic E., Lestan D. (2010) *Eisenia fetida avoidance behavior as a tool for assessing the efficiency of remediation of Pb, Zn and Cd polluted soil*, *Environmental Pollution*, 158 (8). Pp 2766-2772, ISSN: 0269-7491, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.04.015>
- United Nations (ONU), *Department of Economic and Social Affairs, Population Division*. (2019). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. New York: United Nations: ST/ESA/SER.A/420.
- Vera Solano, J. (2013). *Tratamientos biorremediación para la eliminación de residuo de sales inorgánicas generados en laboratorios de química general mediante el uso de técnica de lombricultura*. 4 (1). ISSN:1900-9178. Doi: 10.13140/RG.2.2.12730.52169.
- Volke, y Velasco. (2002). *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología. México, D.F.
- Wang, J. y Chen, C. (2009). *Biosorbents for heavy metals removal and their future*. *Biotechnology Advances*, 27(2), 195-226.
- Wani K. A., Mamta, Rao R. J. (2013). *Bioconversion of garden waste, kitchen waste and cow dung into value-added products using earthworm Eisenia fétida*. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 20(2). Pp. 149-154. ISSN:1319-562X. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2013.01.001>

- Zapata I. C., Martínez L., Posada E., González M. E., Saldarriaga J. F (2017). *Efectos de la lombriz roja californiana (Eisenia Foetida), sobre el crecimiento de microorganismos en suelos contaminados con mercurio de Segovia, Antioquia.* Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 27 (1), pp. 77-90, DOI: <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.1911>
- Zeng, F., Ali, S., Zhang, H., Ouyang, Y., Qiu, B., Wu, F. y Zhang, G. (2011). The influence of pH and organic matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by rice plants. *Environmental pollution*, 159(1), 84-91, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.09.019>

IX. Anexos

Anexo A. Matriz de Consistencia

Eficiencia de la lombriz de tierra para la biorremediación de suelos contaminados con Plomo, a nivel de laboratorio, 2021

<i>Problema</i>	<i>Objetivos</i>	<i>Hipótesis</i>	<i>Variables</i>	<i>Marco Conceptual</i>	<i>Marco Operacional</i>	<i>Dimensión</i>	<i>Indicador</i>	<i>Escala</i>
<i>Problema Principal</i>	<i>Objetivo General</i>	<i>Hipótesis General</i>	<i>Variable Independiente: Lombriz de Tierra</i>	Las lombrices de tierra por vivir en contacto directo con el sustrato y por su condición de alimentarse por ingesta de sedimentos y materia orgánica en descomposición mientras va excavando galerías en el suelo, se encuentran continuamente expuestas a metales pesados (Cd, Hg, Pb y Cu), los cuales pueden ser bioacumulados con gran facilidad en sus tejidos; la bioacumulación dependerá, del tamaño	Inicialmente se eligió el ambiente propicio en dispositivos de almacenamiento adecuado para el crecimiento y desarrollo de las lombrices “Eisenia foétida” la bioacumulación como factores como estado fisiológico (peso) y análisis reproductivo (población) son influenciados al inicio y final de los tratamientos en diferente tiempo de acción. Para llegar a medir el sustrato, comprende a las enmiendas aplicadas con compost en 7 kg en total: compost vacuno 5kg, material seco en 2 kg (compost vegetal) y homogeneizado 0, 30, 45 y 60 g de cal agrícola y	Bioacumulación	Tiempo de acción	de días
¿Cuál será la eficiencia de la lombriz de tierra para la biorremediación de suelos agrícolas contaminados con Plomo, a nivel de laboratorio, 2021?	Evaluar la eficiencia de la lombriz de tierra para la biorremediación de suelos agrícolas contaminados con Plomo, a nivel de laboratorio, 2021	La lombriz de tierra es eficiente en un 70% para la biorremediación de suelos agrícolas contaminados con Plomo, a nivel de laboratorio, 2021			Peso de las lombrices aplicadas		Kg	
						Sustrato	Humus de lombriz	%
							Compost	Kg
							pH del sustrato	(1:1)
							Temperatura	°C

corporal, estado fisiológico y reproductivo de los organismos (Podolak et al. 2011; Rana et al. 2013, Goswami et al. 2014) mezclándose con 3 kg de suelo simulado (con suelo agrícola obtenido en las muestras) como base al inicio; respectivamente en realizará 03 repeticiones en 04 tratamientos; 01 tratamiento testigo dentro de cada dispositivo de almacenamiento.

Humedad del suelo %

N

K₂O, P₂O₅, MgO y CaO %

Problemas específicos *Objetivos específicos* *Hipótesis Especificas*

Analizar la eficiencia de la lombriz de tierra sobre la concentración en suelos agrícolas con plomo.
 Analizar la eficiencia de la lombriz de tierra sobre la concentración en suelos agrícolas con plomo
 La lombriz de tierra es significativamente eficiente sobre la concentración en suelos agrícolas con plomo

¿Cuáles son los parámetros físicos de suelos agrícolas contaminados con plomo para asegurar
 Analizar los parámetros físicos de suelos agrícolas contaminados con plomo para asegurar la
 La lombriz de tierra es significativa sobre los parámetros físicos de suelos agrícolas contaminados por plomo

Variable Dependiente:

Suelos agrícolas contaminados

Se denomina suelo contaminado aquel cuyas características físicas y químicas, han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias contaminantes depositadas por la actividad humana, en concentración tal que comporte un riesgo inaceptable para la salud humana o el medio ambiente.

Se simularán muestras de suelos preparados previamente de 3kg de tierra base cada uno, contaminados en soluciones de 0, 50 ,100 y 150 ppm/ Pb de los cuales se medirán sus parámetros físicos y químicos como suelo experimental con las que se medirán la concentración de Plomo inicial y final en 15, 30 y 45 días control a través de la biorremediación.

Concentración
 ión

 Concentración de plomo final mg/kg

 Parámetros físicos

Concentración de plomo inicial mg/kg

 Concentración de plomo final mg/kg

 Conductividad eléctrica dS/m

 Textura %

la supervivencia de la lombriz de tierra? supervivencia de la lombriz de tierra.

¿Cuáles son los parámetros químicos de suelos agrícolas contaminados con plomo para asegurar la función de remoción de la lombriz de tierra? Analizar la eficiencia de la lombriz de tierra sobre los parámetros químicos de suelos agrícolas contaminados con plomo.

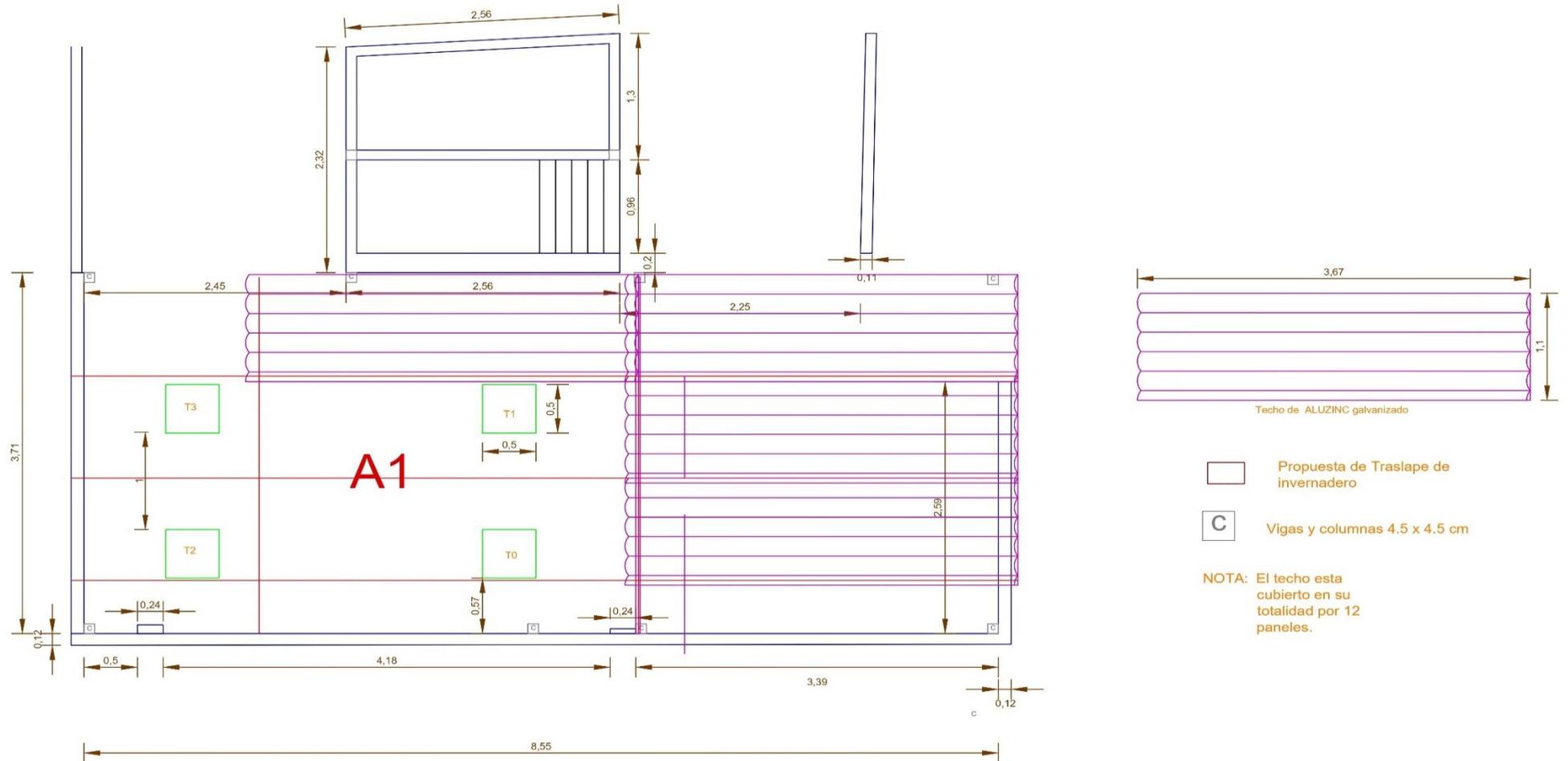
La lombriz de tierra es eficiente en un significativa sobre los parámetros químicos de suelos agrícolas contaminados por plomo.

(Adaptado del D.S. N° 002-2013-MINAM)

	pH del Suelo	(1:1)
	Intercambio Catiónico	meq/kg
Parámetros químicos	Contenido de Carbonato	% CaCO ₃
	Materia Orgánica (M.O.)	mg/kg
	P y K	%

Nota. Presentación de la matriz de consistencia y evaluación de los indicadores o parámetros involucrados en la tesis.

Anexo B. Vista Planta del Invernadero implementado “una Caída”



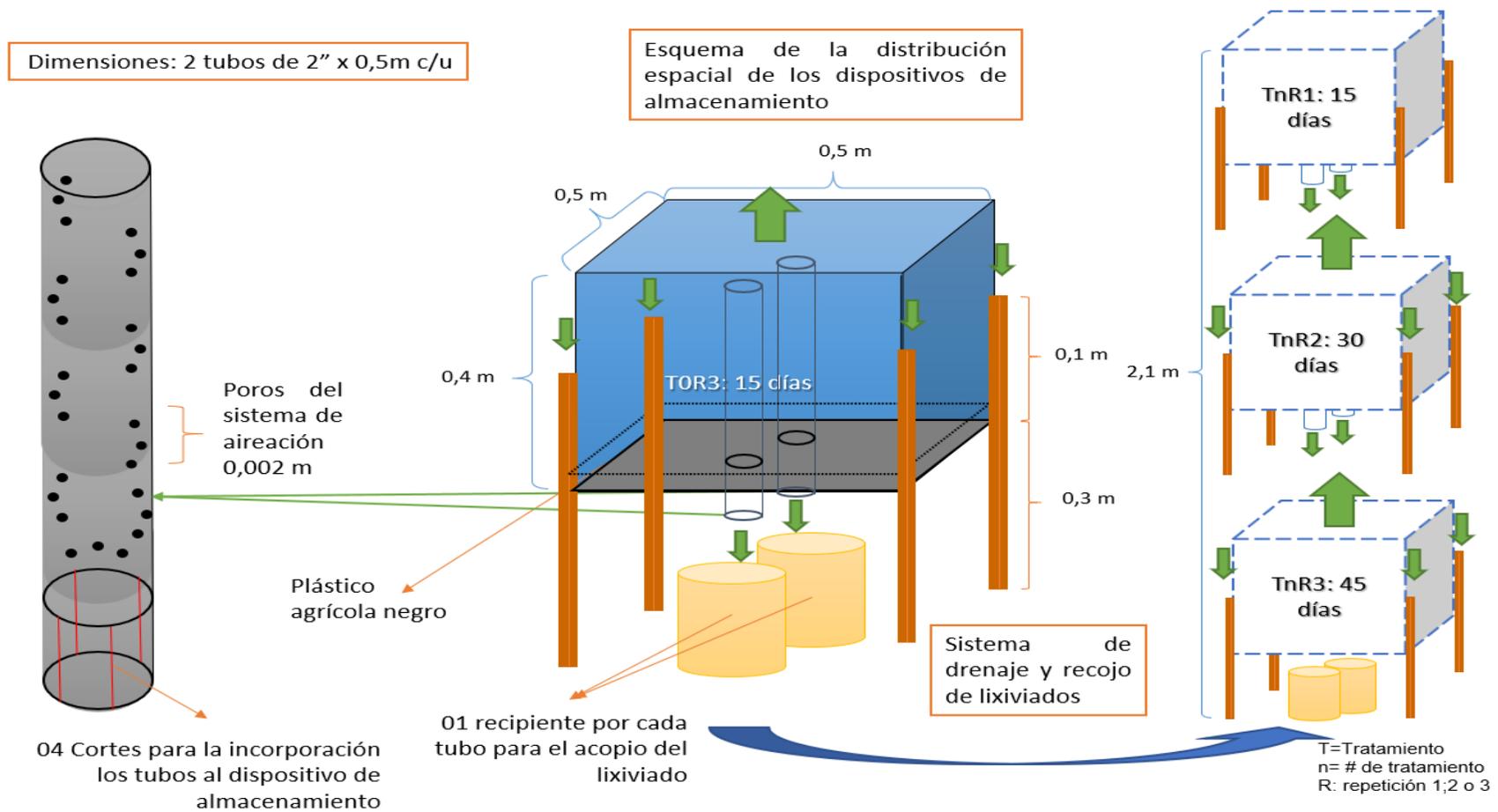
Nota. El techado con Aluzinc galvanizado fue en toda el área del invernadero implementado por 12 planchas o paneles; se tuvo una consideración de “una caída” del 5 a 15% de pendiente

Anexo C. Elaboración del Sistema invernadero Cajas de madera “Piloto”



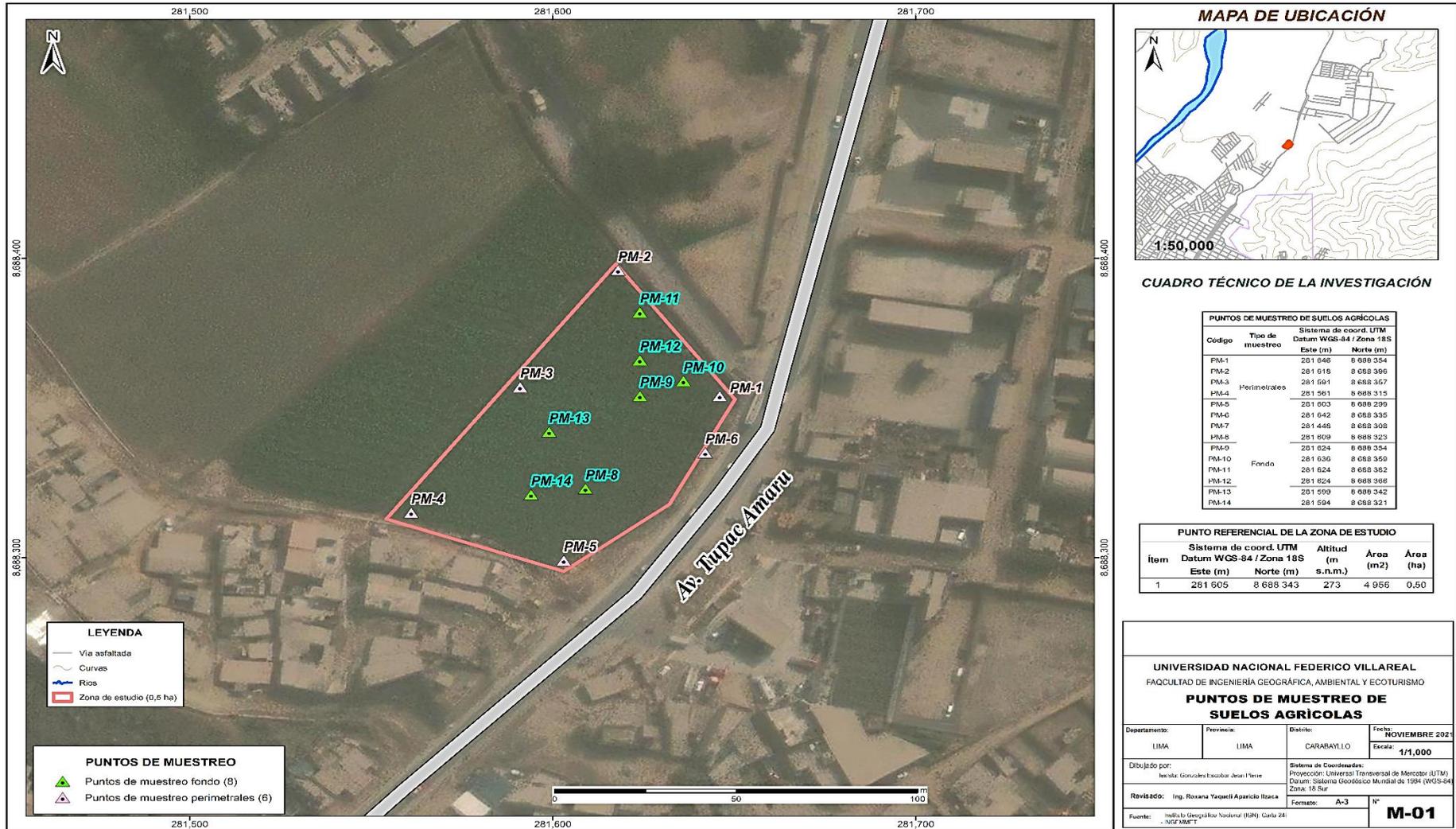
Nota. Se realiza la prueba de caja en los dispositivos T0, T1, T2 y T3 en la R1. El material seco es la fusión de compost vegetal con hojas secas incorporadas. Opcionalmente, se añadirá cal agrícola en 1%, 1.5% y 2% (tomando como base 3 kg del suelo simulado) esto dependerá de los valores de pH monitoreados cada 7 días.

Anexo D. Distribución y dimensionado del Sistema invernadero Cajas de madera “Piloto”



Nota. La distribución final se presenta en 4 columnas (priorizando las concentraciones de suelos simulados en S1, S2, S3, S4) de 03 cajas tomando como nivel de base R1 sucesivamente hasta R3 así con todos los tratamientos- Fuente: Adaptado de Mosquera, 2016.

Anexo E. Mapa de puntos de muestreo de suelos agrícolas



3er PH
 mantenimien T°C
 to

4to Humedad
 mantenimien PH
 to T°C

5to Humedad
 mantenimien pH
 to T°C

Fecha de termino	de	Fecha	02/03/2	02/03/2	02/03/2	02/03/2	02/03/2	02/03/2	02/03/2	02/03/2	02/03/2	02/03/2	02/03/2	02/03/2
			022	022	022	022	022	022	022	022	022	022	022	022
			(+ ó -)											

Total (kg)

Nota. Si la prueba de sobrevivencia de las lombrices es positiva se procede inmediatamente a la cosecha, caso contrario se realizará el cuarto mantenimiento, y se esperará un lapso de 15 días aproximadamente para realizar la segunda prueba de sobrevivencia, el riego se realizó de manera interdiaria. Fuente: Adaptado de Ruesta (2013).

Anexo G. Panel fotográfico



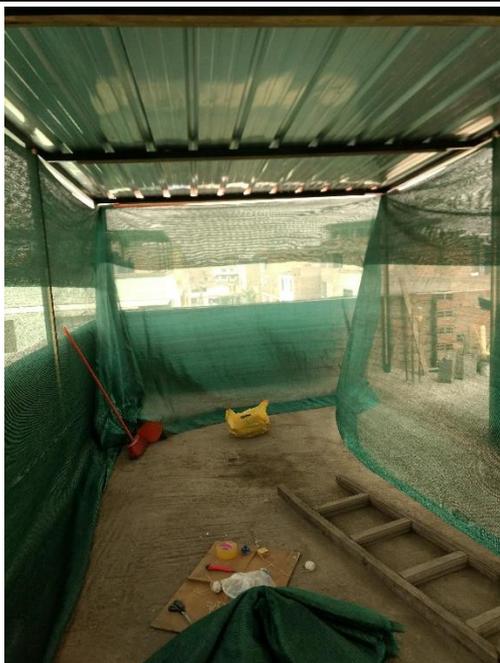
Lugar e emplazamiento del invernadero implementado



Implementación de la infraestructura del invernadero



Implementación de la cobertura del invernadero implementado



Implementación de malla Rashell como cobertura y protección dentro del invernadero



Construcción de los dispositivos de almacenamiento (bandejas de madera)



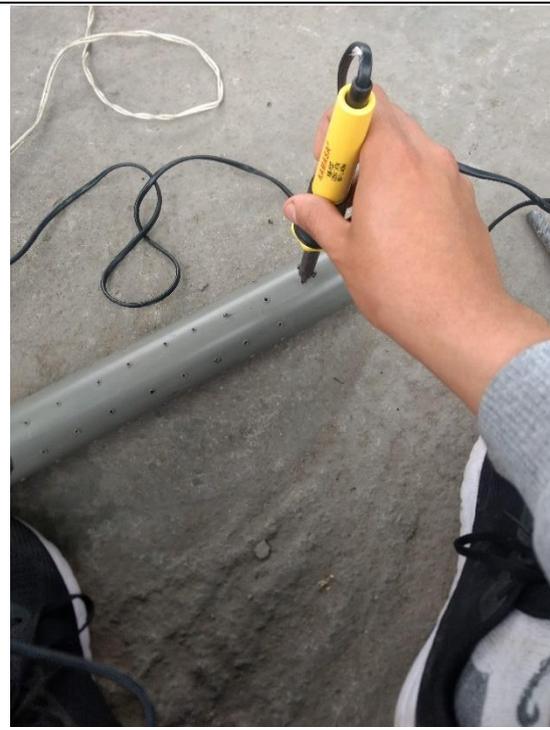
Construcción de los dispositivos de almacenamiento (bandejas de madera) – etapa inicial



Construcción de los dispositivos de almacenamiento (bandejas de madera) – etapa final



Acondicionamiento interno del las bandejas de madera



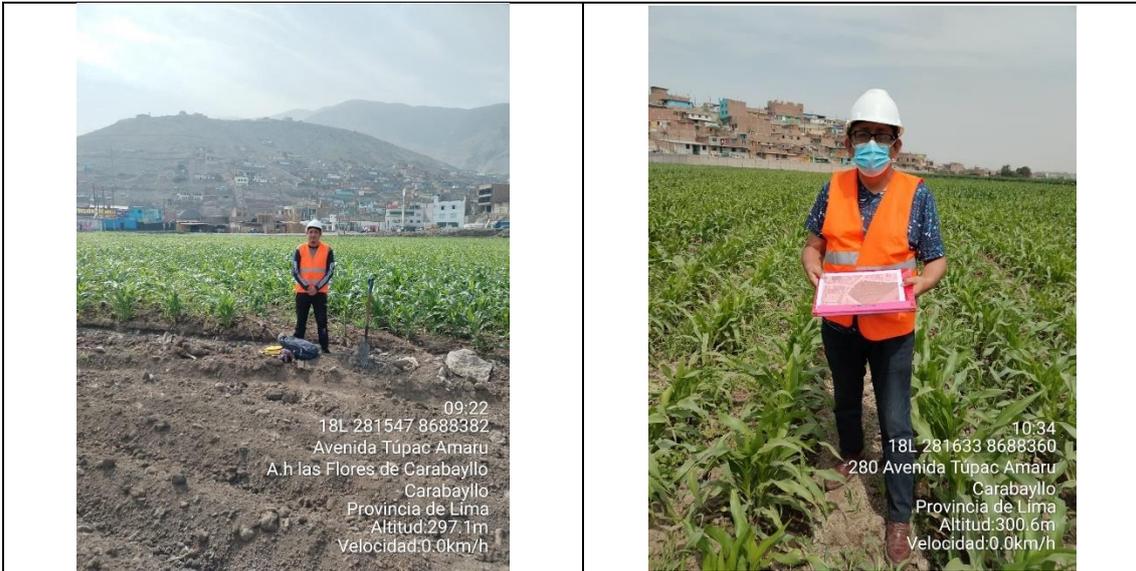
Acondicionamiento interno del las bandejas de madera -Sistema de aireación



Acondicionamiento interno del las dispositivos de almacenamiento de madera - Sistema de aireación y/o drenaje



Compra de los sustratos, mezclas y muestras de suelo agrícola



09:22
 18L 281547 8688382
 Avenida Túpac Amaru
 A.h las Flores de Carabaylo
 Carabaylo
 Provincia de Lima
 Altitud:297.1m
 Velocidad:0.0km/h

10:34
 18L 281633 8688360
 280 Avenida Túpac Amaru
 Carabaylo
 Provincia de Lima
 Altitud:300.6m
 Velocidad:0.0km/h

Inicio de la toma de muestra de suelo agrícola de la zona de estudio el 15/10/2021 (coordenadas enmarcadas en la foto)



09:55
 18L 281617 8688393
 280 Avenida Túpac Amaru
 A.h las Flores de Carabaylo
 Carabaylo
 Provincia de Lima
 Altitud:305.9m
 Velocidad:0.0km/h

10:51
 18L 281504 8688321
 280 Avenida Túpac Amaru
 A.h las Flores de Carabaylo
 Carabaylo
 Provincia de Lima
 Altitud:302.4m
 Velocidad:0.0km/h

Medición de los bordes de la zona (75 a100 m)de estudio según la Guia de Muestreo de Suelos

Las muestras obtenidas fueron un total de 15 kg aproximadamente cada muestra se obtuvo por cuarteo.



09:36
18L 281646 8688355
280 Avenida Túpac Amaru
Carabaylo
Provincia de Lima
Altitud:308.1m
Velocidad:0.0km/h



09:34
18L 281646 8688354
280 Avenida Túpac Amaru
Carabaylo
Provincia de Lima
Altitud:308.6m
Velocidad:0.0km/h

Obtención de la muestra PM-1 (1 kg aprox) coordenadas 281646 m Este y 8688354 m Norte

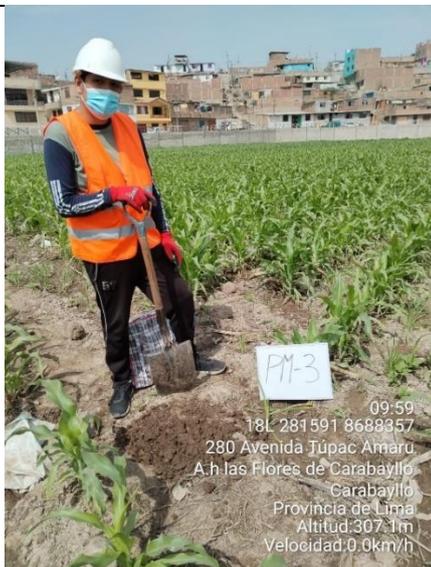


09:49
18L 281618 8688395
280 Avenida Túpac Amaru
A.h las Flores de Carabaylo
Carabaylo
Provincia de Lima
Altitud:303.5m
Velocidad:0.0km/h



09:51
18L 281619 8688396
Carabaylo
Provincia de Lima
Altitud:301.0m
Velocidad:0.0km/h

Obtención de la muestra PM-2 (1 kg aprox) coordenadas 281618 m E y 8688396 m N



09:59
18L 281591 8688357
280 Avenida Túpac Amaru
A.h las Flores de Carabaylo
Carabaylo
Provincia de Lima
Altitud:307.1m
Velocidad:0.0km/h



09:00
18L 281590 8688355
280 Avenida Túpac Amaru
A.h las Flores de Carabaylo
Carabaylo
Provincia de Lima
Altitud:309.9m
Velocidad:0.0km/h

Obtención de la muestra PM-3 (1 kg aprox) coordenadas 281591 m E y 8688357 m N



Obtención de la muestra PM-4 (1 kg aprox) coordenadas 281561 m E y 8688315 m N



Obtención de la muestra PM-5 (1 kg aprox) coordenadas 281603 m E y 8688299 m N



Obtención de la muestra PM-6 (1 kg aprox) coordenadas 281642 m E y 8688335 m N



Obtención de la muestra PM-7 (1 kg aprox) coordenadas 281448 m E y 8688308 m N



Obtención de la muestra PM-8 (1 kg aprox) coordenadas 281609 m E y 8688323 m N



Obtención de la muestra PM-9 (1 kg aprox) coordenadas 281624 m E y 8688354 m N



Obtención de la muestra PM-10 (1 kg aprox) coordenadas 281636 m E y 8688359 m N



Obtención de la muestra PM-11 (1 kg aprox) coordenadas 281624 m E y 8688382 m N



Obtención de la muestra PM-12 (1 kg aprox) coordenadas 281624 m E y 8688366 m N



Obtención de la muestra PM-13 (1 kg aprox) coordenadas 281599 m E y 8688342 m N



Obtención de la muestra PM-14 (1 kg aprox) coordenadas 281594 m E y 8688321 m N



1er Pesado de los sustratos e incorporación de las muestras de suelo sustrato



1er llenado del sustrato a las cajas de madera



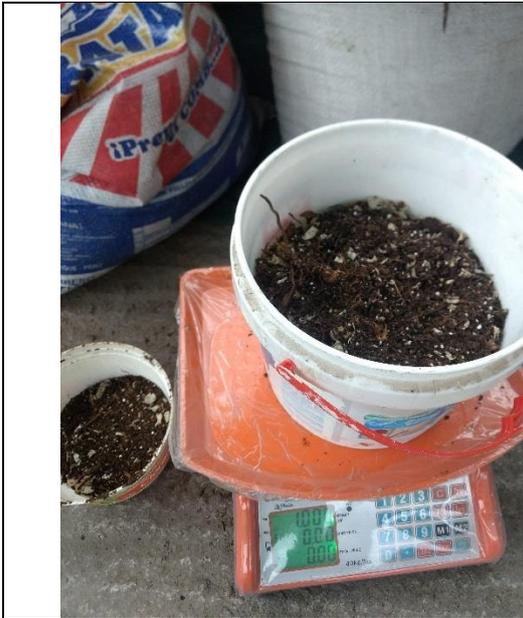


2do Pesado de los sustratos e incorporación del contenido en el suelo Sustrato



2do llenado de los sustratos en la cajas de madera

Elaboración final del suelo Sustrato



Pesaje de los suelos de muestra agrícola mas tierra preparada y tierra de jardín



Elaboración del suelo simulado



Tara y pesaje del contaminante



Dilución del contaminante ($Pb5COOH2$) en agua destilada



Elaboración de los estándares contaminantes



Estandares referenciales de contaminantes para el suelo experimental



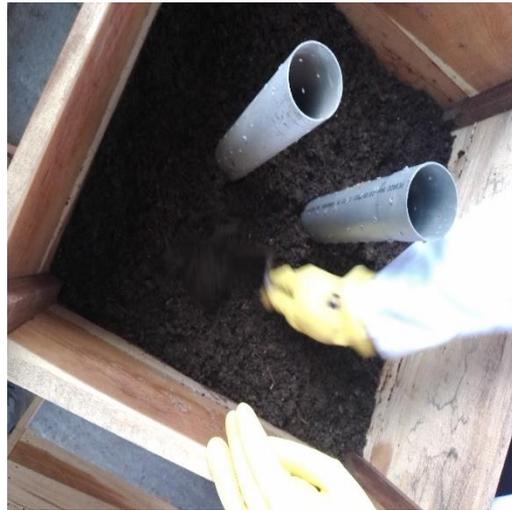
Riego del contaminante en el suelo simulado



Saturación del contaminante en el suelo simulado



Llenado del suelo simulado en el suelo - sustrato



Homogeneización del suelo sustrato y suelo simulado



Aplicación de lombrices a las bandejas que pasaron la prueba de caja



Presentación del tratamiento vertical con sus respectivas repeticiones



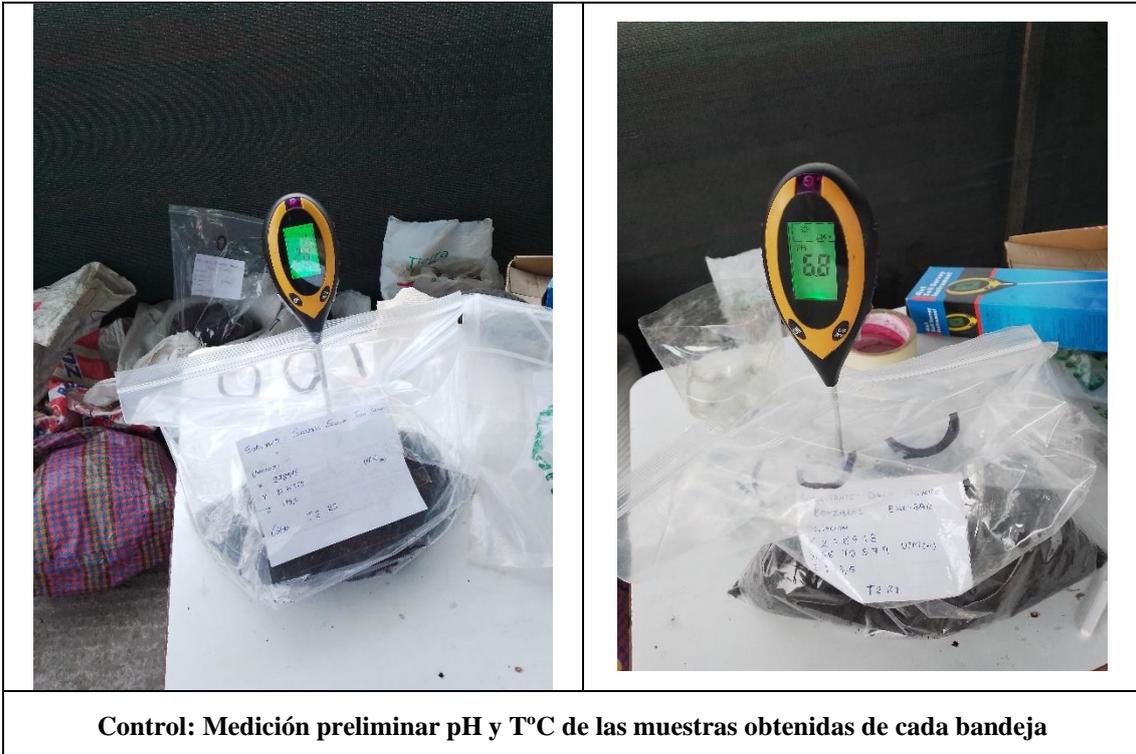
Control: Medición de la T°C



Control: Medición del pH de Suelo



Pesado y etiquetado de las muestras obtenidas de cada bandeja



Control: Medición preliminar pH y T°C de las muestras obtenidas de cada bandeja

Anexo H. Análisis de suelos - Resultados de laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 017762

ANALISIS DE SUELO

SOLICITANTE : GONZALES ESCOBAR JEAN PIERRE
PROYECTO : EFICIENCIA DE LA LOMBRIZ DE TIERRA PARA LA BIORREMEDIACION DE SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO, A NIVEL LABORATORIO, 2021
UBICACIÓN (UTM) : X: 278918 Y: 8670579 Z: 179.5
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 21 de enero de 2022

Número de muestra		Pb (ppm)
Lab.	Campo	
17762	COD: T0R0	0.0



Eusebio Ingol Blanco, PhD.
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH

LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 017768

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : GONZALES ESCOBAR JEAN PIERRE
 PROYECTO : EFICIENCIA DE LA LOMBRIZ DE TIERRA PARA LA BIORREMEDIACION DE SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO, A NIVEL LABORATORIO, 2021
 UBICACIÓN (UTM) : X: 278918 Y: 8670579 Z: 179.5
 RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
 FECHA DE ANALISIS : La Molina, 01 de febrero de 2022

Número de muestra		Pb (ppm)
Lab.	Campo	
17768	Código Muestra 01: T0R1	0.0

Eusebio Ingo Blanco, PhD.
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH

LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 017796

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : GONZALES ESCOBAR JEAN PIERRE
 PROYECTO : EFICIENCIA DE LA LOMBRIZ DE TIERRA PARA LA BIORREMEDIACION DE SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO, A NIVEL LABORATORIO, 2021
 UBICACIÓN (UTM) : X: 278918 Y: 8670579 Z: 179.5
 RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
 FECHA DE ANALISIS : La Molina, 18 de febrero de 2022

Número de muestra		Pb (ppm)
Lab.	Campo	
17796	Código Muestra 01: T0R2	0.0

Eusebio Ingol Blanco, PhD.
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 017929

ANALISIS DE SUELO

SOLICITANTE : GONZALES ESCOBAR JEAN PIERRE
PROYECTO : EFICIENCIA DE LA LOMBRIZ DE TIERRA PARA LA BIORREMEDIACION DE SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO, A NIVEL LABORATORIO, 2021
UBICACIÓN (UTM) : X: 278918 Y: 8670579 Z: 179.5
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 03 de marzo de 2022

Número de muestra		Pb (ppm)
Lab.	Campo	
17929	Código Muestra 1: T0R3	0.0

Eusebio Ingol Blanco, PhD.
 JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH

LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 017769

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : GONZALES ESCOBAR JEAN PIERRE
PROYECTO : EFICIENCIA DE LA LOMBRIZ DE TIERRA PARA LA BIORREMEDIACION DE SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO, A NIVEL LABORATORIO, 2021
UBICACIÓN (UTM) : X: 278918 Y: 8670579 Z: 179.5
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 01 de febrero de 2022

Número de muestra		Pb (ppm)
Lab.	Campo	
17769	Código Muestra 02: T1R1	45.41

Eusebio Ingo Blanco, PhD.
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH

LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 017797

ANALISIS DE SUELO

SOLICITANTE : GONZALES ESCOBAR JEAN PIERRE
PROYECTO : EFICIENCIA DE LA LOMBRIZ DE TIERRA PARA LA BIORREMEDIACION DE SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO, A NIVEL LABORATORIO, 2021
UBICACIÓN (UTM) : X: 278918 Y: 8670579 Z: 179.5
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 16 de febrero de 2022

Número de muestra		Pb (ppm)
Lab.	Campo	
17797	Código Muestra 02: T1R2	29.56

Eusebio Ingal Blanco, PhD.
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH

LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 017930

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : GONZALES ESCOBAR JEAN PIERRE
PROYECTO : EFICIENCIA DE LA LOMBRIZ DE TIERRA PARA LA BIORREMEDIACION DE SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO, A NIVEL LABORATORIO, 2021
UBICACIÓN (UTM) : X: 278918 Y: 8670579 Z: 179.5
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 03 de marzo de 2022

Número de muestra		Pb (ppm)
Lab.	Campo	
17930	Código Muestra 2: T1R3	62.55

Eusebio Ingo Blanco, PhD.
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 017770

ANALISIS DE SUELO

SOLICITANTE : GONZALES ESCOBAR JEAN PIERRE
PROYECTO : EFICIENCIA DE LA LOMBRIZ DE TIERRA PARA LA BIORREMEDIACION DE SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO, A NIVEL LABORATORIO, 2021
UBICACIÓN (UTM) : X: 278918 Y: 8670579 Z: 179.5
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 01 de febrero de 2022

Número de muestra		Pb (ppm)
Lab.	Campo	
17770	Código Muestra 03: T2R1	68.05

Eusebio Ingol Blanco, PhD.
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 017798

ANALISIS DE SUELO

SOLICITANTE : GONZALES ESCOBAR JEAN PIERRE
PROYECTO : EFICIENCIA DE LA LOMBRIZ DE TIERRA PARA LA BIORREMEDIACION DE SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO, A NIVEL LABORATORIO, 2021
UBICACIÓN (UTM) : X: 278918 Y: 8670579 Z: 179.5
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 16 de febrero de 2022

Número de muestra		Pb (ppm)
Lab.	Campo	
17798	Código Muestra 03: T2R2	22.39

Eusebio Ingol Blanco, PhD.
 JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 017931

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : GONZALES ESCOBAR JEAN PIERRE
PROYECTO : EFICIENCIA DE LA LOMBRIZ DE TIERRA PARA LA BIORREMEDIACION DE SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO, A NIVEL LABORATORIO, 2021
UBICACIÓN (UTM) : X: 278918 Y: 8670579 Z: 179.5
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monferrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 03 de marzo de 2022

Número de muestra		Pb (ppm)
Lab.	Campo	
17931	Código Muestra 3: T2R3	72.12

Eusebio Ingol Blanco, PhD.
 JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH

LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 017771

ANALISIS DE SUELO

SOLICITANTE : GONZALES ESCOBAR JEAN PIERRE
PROYECTO : EFICIENCIA DE LA LOMBRIZ DE TIERRA PARA LA BIORREMEDIACION DE SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO, A NIVEL LABORATORIO, 2021
UBICACIÓN (UTM) : X: 278918 Y: 8670579 Z: 179.5
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 01 de febrero de 2022

Número de muestra		Pb (ppm)
Lab.	Campo	
17771	Código Muestra 04: T3R1	67.84

Eusebio Ingol Blanco, PhD.
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH

LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 017799

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : GONZALES ESCOBAR JEAN PIERRE
PROYECTO : EFICIENCIA DE LA LOMBRIZ DE TIERRA PARA LA BIORREMEDIACION DE SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO, A NIVEL LABORATORIO, 2021
UBICACIÓN (UTM) : X: 278918 Y: 8670579 Z: 179.5
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 16 de febrero de 2022

Número de muestra		Pb (ppm)
Lab.	Campo	
17799	Código Muestra 04: T3R2	30.53

Eusebio Ingol Blanco, PhD.
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH

LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE, FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n teléf.: 614 7800 Anexo 226 / 349 3969 E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 017932

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : GONZALES ESCOBAR JEAN PIERRE
PROYECTO : EFICIENCIA DE LA LOMBRIZ DE TIERRA PARA LA BIORREMEDIACION DE SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO, A NIVEL LABORATORIO, 2021
UBICACIÓN (UTM) : X: 278918 Y: 8670579 Z: 179.5
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 03 de marzo de 2022

Número de muestra		Pb (ppm)
Lab.	Campo	
17932	Código Muestra 4: T3R3	66.14

Eusebio Ingoi Bianco, PhD.
JEFE DE LABORATORIO

