

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Efecto de vermicompost en la fitorremediación de  
arsénico por maíz (*Zea mays*) en un suelo  
contaminado en Arequipa**

Sarai Magdiel Bedregal Ancori  
Claudia Milagros Guillen Cano

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental

Arequipa, 2024

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE  
INVESTIGACIÓN**

**A** : Decano de la Facultad de Ingeniería  
**DE** : Juan Pablo Velásquez Barbachán Asesor de  
trabajo de investigación  
**ASUNTO:** Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación  
**FECHA** : 8 de Mayo de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

**Título:**

**Efecto de vermicompost en la fitorremediación de arsénico por maíz (*Zea mays*) en un suelo contaminado en Arequipa**

**Autor:**

BEDREGAL ANCORI, Sarai Magdiel – EAP. Ingeniería Ambiental  
GUILLEN CANO, Claudia Milagros – EAP. Ingeniería Ambiental

Se procedió con la carga del documento a la plataforma “Turnitin” y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 20 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores  
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir “SI”**): SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,



---

Asesor de trabajo de investigación

## **AGRADECIMIENTO**

Especial agradecimiento a Dios: por permitirme finalizar esta etapa que consolida mi enseñanza profesional, asimismo, un especial agradecimiento a mis padres por ser mi soporte y mi gran apoyo en momentos de dificultades y porque ellos representan una parte muy importante de todos mis logros y objetivos alcanzados.

LAS AUTORAS

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo de investigación en primer lugar a Dios: por darme salud y todas las oportunidades para convertirme en profesional y de esta manera dar un paso importante en esta etapa de mi vida; a mis familiares, quienes han sido el soporte fundamental en todas las fases de mi formación académica y profesional.

LAS AUTORAS

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO</b>	<b>4</b>
1.1 Planteamiento del problema y formulación del problema.	4
1.1.1 Problema General	5
1.1.2 Problemas Específicos	5
1.2 Objetivos	5
1.2.1 Objetivo General	5
1.2.2 Objetivos Específicos	6
1.3 Justificación e importancia	6
1.4 Delimitación del proyecto	7
1.5 Hipótesis y Variables	7
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b>	<b>8</b>
2.1 Antecedentes del problema	8
2.2 Bases teóricas	10
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA</b>	<b>15</b>
3.1 Métodos, tipo y alcance de la investigación	15
3.2 Materiales y métodos.	17
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>18</b>
4.1. Presentación de resultados	18
4.2 Discusión de resultados	
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>19</b>
5.1 Conclusiones	
5.2 Recomendaciones	
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>19</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>21</b>
Matriz de consistencia.	22
Matriz de variable.	23
Resultados de laboratorio para muestra de suelo agrícola.	24

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1.PORCENTAJE DE GERMINACIÓN	41
ILUSTRACIÓN 2PORCENTAJE DE GERMINACIÓN	42
ILUSTRACIÓN 3.ALTURA DE PLANTA	44
ILUSTRACIÓN 4.ALTURA DE LA PLANTA	45
ILUSTRACIÓN 5.GROSOR DEL TALLO	47
ILUSTRACIÓN 6.GROSOR DEL TALLO	48
ILUSTRACIÓN 7.COLOR DE LA PLANTA	50
ILUSTRACIÓN 8.COLOR DE LA PLANTA	51
ILUSTRACIÓN 9.HISTOGRAMA DE CLOROSIS	52
ILUSTRACIÓN 10.VIGOR DE LA PLANTA	53
ILUSTRACIÓN 11.VIGOR DE LA PLANTA	54
ILUSTRACIÓN 12.HISTOGRAMA DE VIGOR	55
ILUSTRACIÓN 13.LONGITUD DE RAÍZ,HOJA Y ENTRENUDOS	56
ILUSTRACIÓN 14.NÚMERO DE HOJAS	60
ILUSTRACIÓN 15.PESO DE RAÍZ Y VÁSTAGO	61
ILUSTRACIÓN 16.ANÁLISIS DE ARSÉNICO DEL SUELO	64

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.PORCENTAJE DE GERMINACIÓN	43
TABLA 2.PRUEBA DE DUNCAN DEL PORCENTAJE DE GERMINACIÓN	43
TABLA 3.ALTURA DE LA PLANTA	46
TABLA 4.PRUEBA DE DUNCAN DE ALTURA DE LA PLANTA	46
TABLA 5.GROSOR DEL TALLO	48
TABLA 6.PRUEBA DE DUNCAN DEL GROSOR DEL TALLO	49
TABLA 7.VALOR Y PORCENTAJE DE CLOROSIS	50
TABLA 8.VALOR Y PORCENTAJE DE VIGOR	53
TABLA 9.LONGITUD DE RAÍZ,HOJAS Y ENTRENUDOS	57
TABLA 10.LONGITUD DE RAÍZ	58
TABLA 11.LONGITUD DE HOJAS	59
TABLA 12.LONGITUD DE ENTRENUDOS	59
TABLA 13.PESO DE RAÍZ Y VÁSTAGO	62
TABLA 14.PRUEBA DE DUNCAN DEL PESO DE RAÍZ	63
TABLA 15.PRUEBA DE DUNCAN DEL PESO DE VÁSTAGO	63

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Material para la experimentación	37
Fotografía 2. Semillas germinadas	38
Fotografía 3. Prueba de arsénico en cantidades pequeñas	38
Fotografía 4. Colocación de las semillas en los baldes	43
Fotografía 5. Perforación de los baldes para la oxigenación de la muestra	44
Fotografía 6. Crecimiento progresivo del cultivo	44
Fotografía 7. Semillas germinadas	48
Fotografía 8. Altura del cultivo	50
Fotografía 9. Grosor del tallo	53
Fotografía 10. Color del cultivo	56
Fotografía 11. Vigor del cultivo	59
Fotografía 12. Longitud de entrenudos	64
Fotografía 14: Preparación de disolución de arsénico	79
Fotografía 13: Germinación del maíz	79
Fotografía 15: Aplicación de solución a la muestra de suelo	79
Fotografía 16: Siembra de semilla	79
Fotografía 18: Crecimiento de semillas en muestras preliminares	80
Fotografía 17: Muestras preliminares	80
Fotografía 19: Aplicación de vermicompost al suelo agrícola	80
Fotografía 20: Aplicación de aserrín a la preparación del suelo agrícola.	80
Fotografía 22: Preparación de muestras de suelo con aserrín, vermicompost y arena.	81
Fotografía 21: Preparación de muestras de suelo	81
Fotografía 24: Abertura de orificios para filtrar el agua.	81
Fotografía 23: Pesaje de muestras	81
Fotografía 26: Muestras a los 2 días	82
Fotografía 25: Orificios para la coloración de la semilla	82
Fotografía 28: Muestras a los 10 días	82
Fotografía 27: Cultivo de maíz a los 90 días	82
Fotografía 29: Nivel al 0% de vermicompost	83
Fotografía 30: Nivel al 20% de vermicompost	83
Fotografía 32: Nivel al 100% de vermicompost	83
Fotografía 31: Nivel 40% de vermicompost	83
Fotografía 33: Medición de raíz	84
Fotografía 34: Altura de la planta	84

Fotografía 36: Altura de planta, raíz, entre nudos	84
Fotografía 38: Altura de planta, raíz, entre nudos	84
Fotografía 37: Altura de planta, raíz, entre nudos	84
Fotografía 35: Peso de raíz y vástago	84
Fotografía 39: Resultado de arsénico del suelo en el TORO - COCACHACRA	2
Fotografía 40: Resultado de arsénico T1BA	3
Fotografía 41: Resultado de arsénico T1BA	4
Fotografía 42: Resultado de arsénico T2B2	5
Fotografía 43: Resultado de arsénico T2B2	6
Fotografía 44: Resultado de arsénico T3B3	7
Fotografía 45: Resultado de arsénico T3B3	8
Fotografía 46: Resultado de arsénico T4B1	9
Fotografía 47: Resultado de arsénico T4B1	10
Fotografía 48: Resultado de arsénico T5B2	11
Fotografía 49: Resultado de arsénico T5B2	12

## RESUMEN

El arsénico se encuentra de forma natural en la corteza terrestre y se encuentra ampliamente distribuido en diversos componentes del medio ambiente, como el aire, el agua y el suelo. No obstante, su forma inorgánica presenta un alto grado de toxicidad. Las personas pueden estar expuestas a niveles elevados de arsénico inorgánico a través de la ingesta de alimentos contaminados por agua utilizada en su preparación, el riego de cultivos y procesos industriales. La exposición prolongada a esta sustancia a través de la alimentación puede provocar intoxicación crónica, manifestándose con lesiones en la piel y un aumento en el riesgo de cáncer de piel. Los objetivos de esta investigación incluyeron determinar el nivel óptimo de vermicompost para la fitorremediación de suelos contaminados con arsénico y establecer el nivel ideal de vermicompost en el cultivo de maíz (*Zea mays*) para favorecer la germinación y el crecimiento en suelos con presencia de arsénico, asimismo, determinar en qué nivel de vermicompost el maíz (*Zea mays*) presenta favorables características físicas entre los diferentes tratamientos al 0%, 20%, 40%, 60% y 80%, en suelos contaminados con arsénico y también comparar la disponibilidad de arsénico en el suelo entre los tratamientos con vermicompost al inicio y fin del experimento.

La investigación fue llevada a cabo mediante un diseño experimental con un enfoque completamente aleatorio. En cada unidad experimental, se utilizaron 4 kg de suelo agrícola, que fueron colocados en macetas para la aplicación de los tratamientos. Estos tratamientos se aplicaron con el propósito de sembrar maíz (*Zea mays*) y posteriormente monitorear su crecimiento a lo largo de un período de 112 días. Durante este tiempo, se observó el desarrollo de las plantas hasta alcanzar la etapa inicial de floración, utilizando un modelo aditivo lineal dentro del diseño experimental. Los resultados obtenidos fueron los siguientes, en el tratamiento 3 trabajado al 40% de aplicación de vermicompost se presencié un mejor crecimiento del cultivo en este caso de maíz (*Zea mays*) y según los estudios de laboratorio realizados, las muestras con mayor nivel de vermicompost permitieron la reducción de arsénico en el suelo. Estos resultados son importantes, ya que el arsénico es una fuente de contaminación ambiental muy frecuente, proveniente de las actividades industriales, mineras, etc. Sin embargo, este contaminante también se utiliza en otros productos como en los famosos pesticidas que se han vuelto imprescindibles para la actividad agrícola.

**Palabras claves:** Fitorremediación, extracción, pesticidas, vermicompost, germinación.

## ABSTRACT

Arsenic occurs naturally in the Earth's crust and is widely distributed throughout the environment, including in the air, water, and soil. However, in its inorganic form, it poses significant toxicity risks. People can be exposed to elevated levels of inorganic arsenic through various means, such as consuming contaminated foods prepared with water containing arsenic, irrigating food crops with contaminated water, industrial processes, and consuming contaminated foods directly. Chronic exposure to inorganic arsenic through food consumption can lead to chronic poisoning, characterized by skin lesions and an increased risk of skin cancer.

The objectives of this study were to determine the optimal level of vermicompost for phytoremediation in arsenic-contaminated soils in Arequipa, as well as to establish the ideal vermicompost level for corn (*Zea mays*) cultivation to promote germination and growth in arsenic-contaminated soils in Arequipa. Additionally, the study aimed to determine the vermicompost level at which corn (*Zea mays*) exhibits favorable physical characteristics among treatments ranging from 0% to 80% vermicompost in arsenic-contaminated soils in Arequipa. Furthermore, the study sought to compare the availability of arsenic in the soil between treatments with vermicompost at the beginning and end of the experiment in Arequipa.

The research design adopted an experimental approach, employing a completely random design for the application of treatments. Each experimental unit consisted of 4 kg of agricultural soil, which was then placed in pots where the treatments were applied. Corn (*Zea mays*) was planted in these pots, and its growth was monitored over a period of 112 days, reaching the initial flowering stage of the plant within the linear additive model of the experimental design. The results obtained were the following, in treatment 3 at 40% vermicompost application, better growth of the corn crop (*Zea mays*) was witnessed and according to the laboratory studies carried out, the samples with the highest level of vermicompost allowed the reduction of arsenic in soil. These results are important, since arsenic is a very frequent source of environmental contamination, coming from mines and industrial activities. However, this contaminant is also used in other products such as the famous pesticides that have become essential for agricultural activity.

Keywords: Phytoremediation, extraction, pesticides, vermicompost, germination.

## INTRODUCCIÓN

La presencia de metales pesados es de suma importancia en el medio ambiente debido a su significativa contribución a la contaminación del suelo, los ríos y, consecuentemente, los cultivos agrícolas. Estos metales pueden estar presentes de forma geogénica, es decir, de origen natural, o de manera antropogénica, como resultado de actividades humanas. En ambos casos, es crucial considerar la disponibilidad de estos metales, ya que si exceden los Estándares de Calidad Ambiental representa un riesgo socioambiental que debe ser abordado y sancionado.

Se considera una presencia natural cuando estos metales se encuentran en la composición de diversos minerales presentes en los suelos. Por otro lado, su presencia antropogénica se manifiesta cuando sus concentraciones superan los límites permisibles o son mayores que los niveles correspondientes a su composición geoquímica. Esto suele ser el resultado de actividades industriales, mineras, agrícolas y otras actividades donde la intervención humana es evidente.

El arsénico es reconocido como un carcinógeno confirmado, siendo el contaminante químico más prevalente en cultivos y agua potable a nivel mundial. En el año 2020, un estudio realizado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) reveló que, en la región de Arequipa, específicamente en el Valle de Tambo, existe una alta concentración de arsénico, especialmente en el Río Tambo. Este río se ve afectado no solo por el arsénico, sino también por la presencia de boro, plomo y otros contaminantes. Esta situación se refleja en el color del agua, que varía desde un tono verdoso hasta un naranja intenso [1].

La contaminación del suelo por arsénico representa un problema extremadamente serio y significativo en la actualidad. La capacidad del suelo para absorber este metal y su posterior transferencia a través de las plantas hasta alcanzar a animales y seres humanos genera un impacto perjudicial en la cadena alimentaria, lo que resulta en graves perturbaciones ecológicas. Por lo tanto, es imperativo implementar medidas o alternativas que faciliten el tratamiento de estos suelos contaminados. La fitorremediación se presenta como una solución efectiva, implicando la descontaminación de suelos mediante el uso de plantas y microorganismos asociados. Su objetivo principal es mejorar las propiedades y funciones de los suelos afectados, contribuyendo así a la restauración ambiental.

## CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1 Planteamiento y formulación del problema.

Hacer uso indiscriminado de pesticidas está generando un desequilibrio ecológico a escala global, lo que se refleja en diversas alteraciones en el entorno ambiental. La utilización cotidiana de estos productos químicos contribuye de manera significativa a la crisis agrícola, dificultando la preservación de los ecosistemas, agotando los recursos naturales y teniendo un impacto negativo en la salud de las comunidades rurales y los consumidores urbanos. Este fenómeno destaca la urgente necesidad de reconsiderar y adoptar prácticas agrícolas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. [2].

La utilización diaria de estos productos químicos está generando una crisis en la agricultura, lo que dificulta la preservación de los ecosistemas y de los recursos naturales, al mismo tiempo que afecta negativamente la salud tanto de las comunidades rurales como de los consumidores urbanos. La priorización constante de la productividad a corto plazo sobre la sustentabilidad ecológica, que ha sido predominante en las últimas décadas, ha resultado en un escenario de contaminación y envenenamiento a nivel mundial. [3].

Es de conocimiento general que la aplicación de sustancias químicas para el control de plagas o enfermedades en cultivos conlleva diversas consecuencias, siendo una de ellas la elevada presencia de arsénico en el suelo. Este metal, al ser un contaminante, representa una amenaza para la salud de los seres humanos y ecosistemas, ya que su respectivo peso molecular provoca una acumulación rápida en el suelo, sedimentos y cuerpos de agua. [4].

Entre los metales más abundantes y dañinos para la salud humana y del medio ambiente en el suelo se encuentra: el cadmio, mercurio, arsénico plomo, zinc y cobre. Estos metales a menudo provienen del vertimiento no tratado de relaves en ríos, mares y lagos cercanos.

En contraste, la fitorremediación se presenta como un método efectivo. Dado que se trata de varias tecnologías que ayudan a reducir la concentración de numerosos compuestos, especialmente metales pesados, mediante procesos bioquímicos llevados a cabo en plantas y microorganismos derivados a ellas. Este enfoque permite la disminución de contaminantes en el suelo. [5].

### **1.1.1 Problema General**

¿Qué nivel en el tratamiento con vermicompost es más eficiente en la fitorremediación de suelos contaminados con arsénico?

### **1.1.2 Problemas Específicos**

¿Cuál es el nivel ideal de vermicompost en el cultivo de maíz (*Zea mays*) para la germinación y crecimiento en un suelo contaminado con arsénico?

¿En qué nivel de vermicompost el maíz presenta favorables características vegetativas entre los diferentes tratamientos al 0%, 20%, 40%, 60% 80%, en suelos contaminados con arsénico?

¿Cuál es la disponibilidad de arsénico en el suelo entre los tratamientos con vermicompost al inicio y fin del experimento?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Determinar el tratamiento más óptimo de vermicompost en la fitorremediación en suelos contaminados con arsénico, Arequipa.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Determinar el nivel ideal de vermicompost en el cultivo de maíz (*Zea mays*) para la germinación y crecimiento en un suelo con arsénico, Arequipa.

Determinar en qué nivel de vermicompost el maíz presenta favorables características vegetativas entre los diferentes tratamientos al 0%, 20%, 40%, 60% y 80%, en suelos contaminados con arsénico, Arequipa.

Comparar la disponibilidad de arsénico en el suelo entre los tratamientos con vermicompost al inicio y fin del experimento, Arequipa.

### 1.3 Justificación e importancia

El trabajo se justifica ya que existen escasos estudios en el tema, deficiente investigación y no se sabe con exactitud cuál será el impacto de contaminación en un futuro cercano, por tanto, el propósito es reducir el impacto negativo de arsénico presente en el suelo; en este marco, la biorremediación con especies vegetales, como lo es la aplicación de vermicompost, se vuelve una nueva alternativa viable para poder ser estudiada y analizada con la intención de demostrar su eficiencia remediadora en ambientes controlados y/o monitoreados.

### 1.4 Delimitación del proyecto

Es un estudio a nivel local, en la ciudad de Arequipa en coordenadas:

<b>Norte</b> :	8183928.
<b>Este</b> :	231188.
<b>Altitud</b> :	2389 m.
<b>Zona</b> :	19.

La presente investigación será realizada en un período de un año, una vez iniciada la parte metodológica en el año 2023. Se tomará en cuenta la reducción de la contaminación y en qué porcentaje el vermicompost remedia el suelo dañado y ayuda al crecimiento del cultivo del maíz (*Zea mays*).

## 1.5 Hipótesis y Variables

### Hipótesis General

El tratamiento 2 y 3 al 20% y 40% respectivamente de vermicompost es el nivel más eficiente en la fitorremediación en suelos contaminados con arsénico, Arequipa.

### Hipótesis Específicas

**H1.** El tratamiento 3 al 40% de vermicompost es el nivel óptimo para la germinación, crecimiento y desarrollo en un suelo con arsénico, Arequipa.

**H2.** El tratamiento 3 al 40% de vermicompost en el cultivo de maíz (*Zea mays*) presenta características vegetativas óptimas entre los diferentes tratamientos aplicados.

**H3.** Entre mayor nivel de vermicompost aplicado en el cultivo de maíz (*Zea mays*) se obtuvo una menor disponibilidad de arsénico al finalizar el experimento entre los diferentes tratamientos.

## **Variables**

### **Variables Independientes:**

Vermicompost

#### **Indicador:**

- Kilogramos (kg) de vermicompost por área.

### **Variables Dependiente:**

Maíz

#### **Indicador:**

- Porcentaje de germinación de la planta de maíz (*Zea mays*)
- Altura de planta según niveles de vermicompost
- Grosor del tallo.
- Clorosis.
- Vigor de la planta.
- Longitud de raíz, hoja y entre nudos.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes del problema

La investigación titulada "Guía de producción de maíz (*Zea mays* L.) para pequeños agricultores y agricultoras" resalta que el maíz (*Zea mays* L.) originalmente de la raza Kculli es característico de los valles interandinos y se cultiva hasta altitudes de 3000 m.s.n.m. Aunque todas las plantas de maíz (*Zea mays*) siguen un proceso de desarrollo similar, el tiempo entre las etapas de crecimiento puede alterarse según el tipología del maíz, las fechas recomendables para la siembra, la ubicación y la altitud en la que se encuentre la totalidad del cultivo. Por lo general, los maíces de un gran altura tienen un ciclo de cultivo de 215 a 270 días desde la fecha de siembra culminando hasta la etapa de cosecha. Para una germinación y desarrollo óptimos, el maíz (*Zea mays*) requiere una temperatura necesaria de 15°C y la exposición a la luz solar durante el ciclo de cultivo. Esta planta se adapta a una variedad de suelos, siempre que y cuando estos tengan profundidad, altos en materia orgánica y tengan un buen drenaje para que el encharcamiento sea evitado. La etapa de floración se destaca como el tiempo más crucial en el crecimiento de la planta, ya que de esta etapa depende la formación y llenado del grano, y la cantidad de producción que se desea obtener. Por lo tanto, es recomendable llevar a cabo riegos frecuentes, para que la humedad pueda mantenerse durante esta etapa crítica. [6].

Según la Organización de las Naciones Unidas, en un estudio sobre el "Arsénico", se destaca que este metal está presente en pequeñas cantidades en toda la corteza de la tierra, contando un promedio de 2 partes por millón (ppm), principalmente en forma de minerales e impurezas de otros minerales. El riesgo para la salud asociado al arsénico dependerá en gran medida de su valencia o combinaciones químicas. En particular, el arsénico de origen industrial tiende a presentarse preferentemente en forma trivalente, la cual es mucho más tóxica para los organismos. La relevancia del arsénico se debe no solo a su uso industrial, sino también a su presencia natural en concentraciones elevadas en el agua de ciertas regiones geográficas. [7].

Según la revista Agricultural Sciences en su artículo “Vermicompost, the story of organic gold: A review”, nos indica que el vermicompost es el excremento de las lombrices de tierra, las cuales son capaces de mejorar la calidad del suelo y a su vez el estado de los nutrientes presentes. La lombricultura es un método mediante el cual diversos tipos de desechos biodegradables, tales como desechos agrícolas, de cocina, de mercado, biológicos de agroindustrias, y de ganado, entre otros, son transformados al ser procesados por el sistema digestivo de las lombrices. Este proceso resulta en la producción de vermicompost, el cual es rico en nutrientes y beneficioso para el suelo. Los gusanos vermi se utilizan aquí como agentes biológicos para consumir esos desechos y depositar excrementos en el proceso llamado vermicompost. Este es un proceso mesofílico que implica la actividad de microorganismos y lombrices de tierra, que son activas en un rango de temperatura entre 10 °C y 32 °C. En esencia, las lombrices, a través de una suerte de alquimia biológica, tienen la capacidad de convertir los desechos en un producto valioso, como si fuera "oro". [8].

En el "Estudio de la acumulación y especiación de arsénico en cultivos de maíz (*Zea mays*) y su riesgo potencial para la salud humana", se recolectaron muestras de suelo, agua de riego y maíz (*Zea mays*) de tres parcelas irrigadas. Estas parcelas estaban ubicadas cerca de la zona minera de San Luis Potosí, México, y consistían en plantas de maíz con alturas de 1,2 a 1,5 metros y un peso húmedo de 2,0 a 3,5 kilogramos, cosechadas en aproximadamente tres meses. Las Zonas A y B se encontraban en Matehuala, mientras que la Zona C estaba en la ciudad de Villa de Ramos. Se llevó a cabo un muestreo sistemático rectangular en cada área agrícola, donde se tomaron seis muestras de suelo y plantas de maíz (*Zea mays*), así como una muestra de agua por cada parcela. Las muestras de suelo se tomaron a una distancia horizontal de menos de 20 centímetros de las raíces del cultivo y a una profundidad de 0 a 30 centímetros. [9].

Las muestras obtenidas del suelo fueron obtenidas a temperatura ambiente, posteriormente se tamizaron para obtener la fracción de arcilla (<63 µm). Las muestras de plantas fueron lavadas con agua corriente y luego se enjuagaron tres veces con agua desionizada. Además, las raíces del maíz (*Zea mays*) se lavaron con CaCl<sub>2</sub> 5 mM para eliminar los iones que podrían quedar absorbidos dentro del tejido. Finalmente se dividieron cuidadosamente en raíces, tallos, hojas y granos todas las muestras de plantas. [9].

La caracterización de muestras de agua subterránea y suelo utilizadas para el correcto riego de maíz (*Zea mays*) se realizó en tres diferentes sitios de muestreo agrícola. Las Tablas XIII y XIV reflejan las características y contenido de arsénico del agua de riego y del suelo en cada punto de muestreo. El análisis de tejidos clasificó las muestras de suelo que entraron a evaluación para las Zonas A, B y C en arcillosas, arcillosas limosas y franco arcillosas limosas, respectivamente (Anexo K) [10].

Las primeras dos zonas (A y B) presentaron un nivel alto en contenido de N total, conductividad, contenidos de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{Cl}^-$  intercambiables en los puntos referenciales de muestreo MTA-A y MTB-A, y suelos agrícolas en los puntos MTA 1-6 y MTB 1-6 (Matewara, Zonas A y B) superiores a las muestras en lixiviados de VR 1-6 (Villa de Ramos, Zona C). La alta conductividad y salinidad de la muestra de Matewara pueden estar relacionadas con la alta concentración de iones  $\text{Ca}^{2+}$  en la zona más que con las concentraciones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ , que fueron similares y bajas en la totalidad de muestras. Alta salinidad en suelos agrícolas [10].

La presencia de arsénico puede ocasionar una disminución en la biomasa de los cultivos, afectar adversamente su crecimiento y fisiología, e inducir albinismo y mortalidad en las plantas. Se llevaron a cabo mediciones de las concentraciones totales de arsénico en diferentes partes de la planta, incluyendo raíces, tallos, hojas y granos, en cada punto de muestreo. Los valores de arsénico detectados siguieron la siguiente distribución: raíces  $\gg$  tallos y hojas  $>$  granos. Otros estudios también han reportado un orden de magnitud similar. Se observa que el contenido de arsénico en los cultivos de maíz tiende a variar de acuerdo con el contenido de arsénico presente en el suelo. [11].

El cultivo de maíz (*Zea mays*) presente en la zona A de la planta fue mayor. Los tejidos como los tallos y las hojas no son ingeridos directamente por los humanos, pero el ganado puede ingerir el ensilaje de maíz (*Zea mays*) representando un alto riesgo para la salud humana. En algunos países como el caso de Suiza, la concentración permitida de arsénico en ensilaje es de 4 mg  $\text{kg}^{-1}$ . Concentraciones ligeramente superiores a las reportadas en este estudio. concentración de arsénico en tallos y hojas de maíz. Algunas plantas comestibles para el ganado, reportaron valores mg  $\text{kg}^{-1}$  ps y mg  $\text{kg}^{-1}$  ps, respectivamente, alrededor del 10% del contenido de arsénico en el suelo (4.08-43.68 mg (kg as - 1)). Esta asociación fue superior que la informada en otros estudios [11].

La materia orgánica está presente en el suelo debido a la descomposición de vegetales y restos de animales. La composición de la materia orgánica puede alterar la movilidad del arsénico y la disponibilidad de las plantas por las siguientes razones: 1) Alteración del potencial redox del arsénico, 2) la disponibilidad de lugares de adsorción, y 3) la formación de complejos solubles. En el área de estudio, la correlación negativa entre el contenido de arsénico y el TOCWE (CP2) del suelo podría ser consecuencia del efecto de la materia orgánica que reduce el potencial redox [12].

El elevado contenido de materia orgánica presente en el suelo favorece el crecimiento del suelo al proporcionar un entorno adecuado para el crecimiento y desarrollo de microorganismos. Estos microorganismos, por lo general, tienen la capacidad de reducir el potencial redox del suelo. El arsénico (III) es más móvil en suelos con mayor profundidad que el arsénico (V) porque su forma de tipo oxidada tiene mayor afinidad al (hidro)óxido de Fe (III) que el arsénico (V). En el estudio Fitoextracción de plomo, arsénico y cadmio, presentes en suelos de tipo agrícola, que se encuentran contaminados por relaves mineros por el maíz (*Zea Mays*) y la betarraga (*Beta vulgaris*) [12].

Según la revista de Ingeniería química, en “Reduction of microplastics in sewage sludge by vermicomposting”, varios investigadores han recomendado el vermicompostaje como una poderosa técnica de biorremediación para tratar metales pesados presentes en cultivos y tratar lodos de depuradora antes de su aplicación a suelos agrícolas, en comparación con el compostaje, la digestión anaeróbica y la incineración. El compostaje de lombrices es un tratamiento aeróbico que a su vez incluye interacciones simbióticas entre una gran cantidad de lombrices y muchos microorganismos para biooxidar y estabilizar los desechos orgánicos [13].

Las lombrices de tierra ingieren, trituran y digieren los desechos orgánicos y los distribuyen de las siguientes maneras. El moho se convierte en abono de lombriz mediante la acción de microorganismos. El lombricompost posee un alto nivel en nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio que las plantas pueden utilizar para crecer. Las lombrices que encontramos en la tierra que más se utilizan para el vermicompostaje son: *Eisenia andrei*, *Eisenia fetida*, *Dendrobaena veneta*, *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus* y *Perionyx excavatus*. El vermicompostaje de lodos de depuración se utiliza actualmente para aplicaciones industriales en Nueva Zelanda, donde los lodos de depuradora se mezclan con sólidos de fábricas de celulosa para producir vermicompostaje de alta calidad [13].

En la segunda edición de la enciclopedia "Suelos en el Medio Ambiente", se establece que el arsénico (As) es un elemento químico clasificado como metaloide con propiedades tóxicas para todos los organismos vivos, y su presencia genera preocupación debido a sus efectos negativos en la salud humana. La mayoría de las personas están expuestas al arsénico a través del consumo de agua potable y alimentos contaminado, siendo los cultivos agrícolas una vía significativa de entrada de arsénico a los seres humanos. Además de la contaminación del agua potable, la presencia de arsénico en suelos agrícolas, tanto de origen natural como resultado de actividades humanas, contribuye a la contaminación de los cultivos alimentarios. [14]

Esto se debe a que el sistema digestivo de *Eisenia foetida* contiene microorganismos beneficiosos que descomponen diferentes componentes de los desechos orgánicos., inhiben los microorganismos anaeróbicos y aeróbicos dañinos en el intestino y facilitan la recuperación del vermicompost final [15].

El compost de lombrices maduras también contiene muchas sales solubles y sustancias húmicas, incluidos NH, OH, COOH y CO. Estos grupos funcionales pueden inmovilizar los metales con gran fuerza. La humedad de las lombrices durante el vermicompostaje también afecta la disponibilidad de metales. De manera similar, las sustancias orgánicas como los ácidos carboxílicos y los ácidos alcohólicos, que se encuentran en gran cantidad en el lombricompost, desempeñan un papel importante en la adsorción de metales. [15].

Además, los compuestos orgánicos disueltos también pueden tener un efecto significativo sobre el comportamiento de los metales. En el caso del cadmio (Cd), el metal más estudiado, los aditivos orgánicos reducen la biodisponibilidad del Cd mediante quelación o intercambio, lo que puede conducir a la migración del Cd... De manera similar, desde el suelo hasta las lombrices, este proceso de secuestro está asociado con un aumento de CO y un pH elevado causado por la preparación de lombricompost, la disponibilidad de las plantas del mismo Cd y macroagregado [15].

Según el estudio "Vermicompost mejora el crecimiento de maíz (*Zea mays*), mijo y sorgo en relaves de minas de hierro", las actividades mineras están aumentando en todo el mundo, con los concomitantes impactos ambientales negativos. En países como Brasil, los accidentes de represas están causando graves daños ambientales. Por lo tanto, los funcionarios están preocupados y buscan nuevas tecnologías para frenar la contaminación causada. Además, muchos de los programas de remediación de tierras contaminadas con

relaves mineros han sido costosos e ineficientes en términos de remediación. Por ejemplo, en la Mina Aznalcojar (España), la contaminación por residuos aún está presente en el área de desbordamiento de la mina después de un programa de remediación de 20 años [16].

Los cambios físicos en el suelo causados por los residuos incluyen una disminución en el número de macroporos debido a la densificación del suelo, creando resistencia física a las raíces y reduciendo la aireación y la infiltración de agua y nutrientes. El resultado es un aumento de los procesos de escorrentía y erosión. Otras formas de reducir los efectos de la compactación del suelo incluyen el uso de fertilizantes y materiales orgánicos y plantar semillas con sistemas de raíces robustos [16].

El lombricompost o vermicompost es un aditivo orgánico con propiedades populares como alta capacidad de retención de agua, porosidad y disponibilidad de nutrientes. Este compost se forma a través de la interacción de las lombrices con microorganismos beneficiosos en un proceso conocido como lombricompostaje, destinado a descomponer la materia orgánica de manera eficiente. Una particularidad del vermicompost es que continuamente es excretado por las glándulas calcáreas de las lombrices, lo que le confiere una mayor madurez y estabilidad en comparación con otros materiales de abono. Los efectos positivos del vermicompost en la mejora del desarrollo de las plantas se deben a una mezcla de mecanismos físicos, químicos y biológicos. [17].

El proceso físico del vermicompost está asociado con una mayor porosidad del suelo y una mayor retención de agua. Estas propiedades promueven el desarrollo de las raíces y reducen las limitaciones físicas que afectan el crecimiento de las plantas debido a las condiciones del suelo. El vermicompost también se asocia con una mayor disponibilidad de nutrientes que afecta la movilidad y biodisponibilidad de metales pesados en el suelo. Por otro lado, las vías biológicas se refieren a la presencia de microbiomas activos en el vermicompost, los cuales pueden generar sustancias húmicas e incrementar la disponibilidad de nutrientes para que las plantas los absorban. Estos procesos biológicos contribuyen significativamente a mejorar las condiciones del área agrícola y a favorecer el crecimiento saludable de las plantas. [17].

Especies como el maíz (*Zea mays*), el mijo y el sorgo contribuyen al aflojamiento del suelo y también forman parte de programas de extracción de metalófitos basados en cultivos. Existen estudios que muestran el uso de plantas de maíz (*Zea mays*), mijo y sorgo para la fitorremediación en áreas contaminadas. Se han observado extracciones exitosas de metales como Cu, Zn, Pb y Cd en el maíz, Cd y Ni en el mijo, y Ni, Mn y Cr en el sorgo. Estos

resultados indican el potencial de utilizar este tipo de plantas para remediar sitios contaminados e indican que estas plantas pueden tener usos alternativos como la producción de bioenergía. [18].

Por lo tanto, dada la escala y gravedad del desastre, la destrucción de tierras agrícolas y la necesidad de investigar especies que puedan usarse para restaurar este entorno natural y agrícola, agregar compost de lombriz a los desechos minerales podría resultar en una gran cantidad de beneficios. Los relaves de las minas tienen altos contenidos de Mn, Fe y Cr, así como una alta densidad y pH, lo que limita el crecimiento, la acumulación de biomasa y la fisiología de los cultivos. La función principal del vermicompost cuando se agrega a los relaves de las minas es promover el crecimiento de raíces gruesas y muy gruesas en los cultivos. Es una de las estrategias de supervivencia de especies que están sujetas a las limitaciones físicas del sustrato. Los rendimientos de maíz (*Zea mays*) son evidencia de una mayor tolerancia del maíz (*Zea mays*) al crecimiento en los relaves de las minas [18].

En el artículo “Fitotoxicidad de compost producido con cultivos de microorganismos de montaña y lodos de biodigestor”, se señala que La prueba de fitotoxicidad es un método económico, rápido y confiable para detectar la presencia de sustancias tóxicas en el compost que inhiben la germinación y crecimiento de los cultivos. El objetivo de esta investigación es evaluar la toxicidad de microorganismos de campo y residuos biodegradables como mejoradores de compost mediante pruebas biológicas sobre la germinación y crecimiento de semillas de pepino (*Cucumis sativus*). Se encontró que incluso si estas sustancias se utilizan individualmente, no tienen el efecto de inhibir el crecimiento y desarrollo de los pepinos, por lo que pueden considerarse un producto seguro para mejorar la calidad del compost. Sin embargo, cuando se utilizaron ambos materiales en la producción de este vermicompost, se aplicó una gran cantidad de estiércol y nutrientes a las plantas, lo que redujo significativamente el crecimiento y crecimiento inicial de los pepinos. Estos resultados se explican por el efecto fitotóxico debido al alto contenido de zinc y boro que se encuentra en el compost que combina ambas sustancias. [18].

Los bioensayos de fitotoxicidad mostraron que la aplicación individual de microorganismos y lodos como agente de compostaje no influyó en la germinación o el crecimiento de los cultivos de prueba. Por tanto, según el sistema de producción descrito, estos dos compuestos están libres de fitotoxinas y son seguros para los cultivos. Los resultados muestran que la combinación de las dos sustancias inhibe la germinación y el crecimiento de los cultivos probados, indicando que pueden ser compuestos tóxicos que pueden reaccionar durante el compostaje y causar problemas en el crecimiento y desarrollo de los cultivos. [19].

En el estudio titulado "Efecto de la aplicación de estiércol de lombriz en la disponibilidad de arsénico y cromo, en un cultivo de maíz (*Zea mays*) del distrito de Orcotuna, Concepción - 2016", llevado a cabo en la región de Junín, el objetivo era determinar cómo los altos niveles de vermicompostaje afectan el arsénico y el cromo en el maíz (*Zea mays*) cultivado en tierras agrícolas. El estudio tuvo su base en el método de observación directa, con una parcela delimitada de 8.75 hectáreas. Para el muestreo de suelos, se empleó el método de zigzag, obteniendo un total de 31 muestras de suelo de 1 kg cada una. Se tomaron 2 kg de suelo para cada tratamiento, se sembraron 3 semillas a una profundidad de 5 cm, y se aplicó humus de lombriz en la superficie del suelo con cinco dosis diferentes por tratamiento (0%, 5%, 10%, 15% y 20%). El riego se realizó cada 12 días, comenzando desde el período de la siembra, con tres repeticiones para cada tratamiento. Los resultados del estudio indican que las dosis de estiércol de lombriz tuvieron gran influencia en la absorción de arsénico y cromo por las plantas de maíz (*Zea mays*). Esto sugiere que la aplicación de estiércol de lombriz tiene un impacto en la disponibilidad de estos metales pesados en el suelo y su absorción por las plantas. [20].

En el estudio "Fitoextracción de mercurio asistida con humus de lombriz usando *Artemisia Absinthium* en un suelo contaminado de Huancavelica", el objetivo principal fue resolver la aptitud de la especie *Artemisia absinthium* para llevar a cabo la fitoextracción de mercurio, asistida por diferentes dosis de humus de lombriz, en un suelo contaminado con mercurio proveniente del campamento de la mina de Santa Bárbara, ubicado en la provincia y departamento de Huancavelica. Para la obtención de muestras de suelo se utilizó el método del cuarteo. El estudio se dividió en dos etapas. En la primera etapa, se recolectaron esquejes de *Artemisia absinthium*, los cuales fueron cultivados en un suelo apto para el crecimiento de la planta durante un periodo de 90 días. Después estos esquejes se plantaron en suelos contaminados con diversas dosis de humus de lombriz con el fin de llevar a cabo la remediación, durante un periodo adicional de 100 días. Cabe destacar que este análisis se realizó de manera *ex situ*, con la implementación de 4 tratamientos, cada uno repetido en 3 ocasiones. Estos tratamientos permitieron evaluar de manera más precisa la eficacia de la fitoextracción asistida por humus de lombriz en la disminución de la contaminación por mercurio en el suelo. [21].

Se analizaron los tratamientos utilizados en condiciones similares para determinar qué tratamiento mostró la mayor eficacia y proporcionó los mejores resultados. Los resultados

del estudio de datos revelaron que el grupo de control alcanzó la acumulación más alta de mercurio en la planta, registrando 145.30 mg/kg, seguido por el tratamiento 1, el tratamiento 2 y, finalmente, el tratamiento 3. Se observó que el aumento en las diversas dosis de humus de lombriz tuvo un impacto significativo en las características fisicoquímicas del suelo. Esto se reflejó en un aumento del volumen de Materia Orgánica (MO), la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la Conductividad Eléctrica (CE). Paralelamente, el pH del suelo amenoró, mientras que la textura se mantuvo constante. En resumen, los hallazgos sugieren que la especie *Artemisia absinthium* actúa como una planta fitoextractora, ya que el Factor de Translocación (FT) superó el valor de 1. Esto indica que la planta tiene la capacidad de transportar mercurio hacia su parte aérea, lo que subraya su potencial para la fitoextracción de mercurio en suelos contaminados. [21].

En el estudio titulado "Efecto del Humus de Lombriz en la remediación de suelos contaminados con crudo de petróleo. Ucayali, Perú", el objetivo principal de este estudio fue verificar la efectividad de la aplicación de humus de lombriz para remediar suelos contaminados con petróleo. El método utilizado en este proyecto se caracteriza por un nivel de investigación experimental y un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos, tres veces cada uno. La investigación involucró el montaje de un total de 12 celdas experimentales destinadas al tratamiento de suelos contaminados con hidrocarburos. Cada celda de prueba se contaminó con 1 galón de petróleo y luego se administraron múltiples dosis de humus de lombriz según el régimen de tratamiento prescrito. La elección del humus de lombriz se basó en la abundancia de bacterias degradadoras de hidrocarburos y su alto contenido en nutrientes que favorece el desarrollo de estos microorganismos. Este enfoque experimental permitió evaluar de manera sistemática y controlada cómo la aplicación de humus de lombriz afecta la remediación de suelos degradados con crudo de petróleo, proporcionando datos valiosos sobre la eficacia de este método en condiciones específicas en Ucayali, Perú. [22].

En el estudio, se recolectaron muestras de cada celda experimental para elaborar análisis de suelo de Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH) (C9-C40) en laboratorio, a lo largo de un intervalo de dos meses. La dosis que mostró el mayor índice de reducción de Hidrocarburos Totales de Petróleo en el suelo fue la de 20 kg de humus de lombriz por cada 200 kg de suelo contaminado con 1 galón de crudo de petróleo. Esta dosis logró una disminución del 86,74% en miligramos de Hidrocarburos Totales de Petróleo presentes en el suelo. Comparativamente, el tratamiento 1, que no recibió aplicación de humus, mostró una disminución del 69,59%. El tratamiento 2, que aplicó 10 kg de humus, disminuyó un

84,33%, y el tratamiento 4, que aplicó 30 kg de humus, disminuyó un 75,52%. Estos resultados indican que la aplicación de 20 kg de humus de lombriz por cada 200 kg de suelo contaminado con crudo de petróleo fue la más efectiva en la reducción de Hidrocarburos Totales de Petróleo, destacando su potencial como agente de remediación en este contexto específico. [22].

En el estudio "Comparación de la eficiencia de los bioadsorbentes semilla de palta (*Persea Americana*) y mazorca de maíz (*Zea Mays*) en la remoción del arsénico de las aguas naturales del subsuelo de la zona del distrito de Torata, La población de estudio fueron las fuentes naturales de agua (agua de manantial) de la ciudad de Torata., Mariscal Nieto, departamento de Moquegua. Para el método de muestreo se utilizó por simplificación el tipo no probabilístico, tomando agua de manantial de la cuenca Jorge Chávez B, considerando los sitios afectados por arsénico según la información de la Autoridad Regional de Moquegua considerados como localidad [23].

El muestreo se elaboró según el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos - ANA, 2016, mapeando primero el área y ubicación y tomando fotografías como evidencia. Las mediciones de parámetros de campo se realizaron utilizando multiparámetros para verificar la estabilidad de la fuente y sus propiedades físicas. Luego se tomaron muestras y las botellas de muestra se etiquetaron y acondicionaron previamente. Además de garantizar la cadena de frío, como el uso de hieleras, la preparación de materiales de embalaje, nuestro objetivo es garantizar que las muestras recolectadas lleguen en las mejores condiciones y calidad de almacenamiento posibles [23].

Para la fase experimental se utilizó una prueba de vidrio con sistema discontinuo. En la primera configuración experimental, las pruebas se realizaron en matraces que contenían muestras de agua de 300 ml y 1, 2, 3, 4 o 6 gramos de biosorbente, con agitación constante a 200 rpm durante 330 minutos. Luego se dejó por 15 minutos para proseguir con la filtración (se hizo doble filtración) y posteriormente las muestras se conservaron en 1 ml de ácido nítrico por botella, se almacenaron en el refrigerador y se remitieron al laboratorio para su estudio [24].

El primer ensayo se repitió ya que los resultados no estuvieron a la altura de las expectativas. El experimento se repitió con una pre filtración adicional de las muestras de agua natural utilizando papel de filtro para descartar impurezas físicas que podrían afectar el proceso. A su vez, evitamos el empleo de cloruros de hidróxido ya que interferían con los experimentos.

En un segundo experimento, instalamos un matraz de 500 ml y agregamos una muestra de agua de 300 ml. En la configuración experimental anterior, una velocidad de agitación de 200 rpm dio los mejores resultados de concentración. Luego se dejó reposar durante 15 minutos, se filtró (realizando doble filtración), luego se embotelló y se envió al laboratorio para su estudio (no se almacenó) [24].

Los resultados son positivos y demuestran que ambos organismos son capaces de purificar metales tóxicos, como el arsénico, estos mismos resultados se ven replicados en trabajos como los de (Pintado, 2018) que usó la misma biomasa. (semilla de palta) para adsorber metales pesados como plomo (Pb) y cromo (Cr), así mismo (Trelles, 2013) presentó su tesis de maestría sobre la determinación de la capacidad de absorción de ciertos elementos biológicos, pero no consideró las semillas de aguacate debido a su alto contenido de aceite. Esta investigación abre una nueva tecnología de adsorción. [25].

Históricamente, ha habido pocos ejemplos de semillas de aguacate u otras partes de este alimento utilizadas como biosorbentes, y ha habido poco tiempo para iniciar investigaciones en esta área. Finalmente, se encontró un precursor que utilizaba trozos de aguacate, en este caso la cáscara, en lugar de la semilla. A pesar de tener más de una década, es uno de los pocos biosorbentes de su tipo y, por lo tanto, se considera en este proyecto. similar. En este caso, la tasa de eliminación de cromo después del contacto durante 120 horas fue del 99,81% y, como se muestra en la Figura 1, se confirmó la capacidad de adsorción del aguacate con una alta tasa de eliminación en la investigación actual [25].

En el estudio "Aplicación de Vermicompost para la remediación de suelos contaminados por metales pesados", los investigadores sustentan que prefieren utilizar la especie de lombriz *Eisenia foetida*. Dado que las lombrices de tierra sobreviven en suelos contaminados con metales, también pueden eliminar los niveles de metales pesados de los desechos orgánicos. Además, las lombrices pueden cambiar la composición química de los residuos moviéndolos continuamente, aumentando la aireación y acelerando la descomposición de la materia orgánica. [26].

En particular, *Eisenia foetida* tiene una alta tolerancia a las variaciones ambientales y una buena biodisponibilidad de metales pesados tóxicos en comparación con otras especies, lo que la hace más adecuada para el vermicompostaje. *Eisenia Foetida* tiene una alta tasa de descomposición de la materia orgánica, una alta tasa de reproducción, contribuye a la

aireación del suelo y una alta tasa de supervivencia. [26].

En el estudio "Determinación de la fitotoxicidad del compost de la planta de tratamiento de residuos sólidos municipales de Carhuaz, utilizando el cultivo de trigo como indicador, Carhuaz - Ancash, 2017", se destaca la urgencia de evaluar la creciente producción de residuos sólidos para obtener nuevos productos, como el compost a partir de residuos orgánicos. El objetivo principal del estudio fue evaluar el nivel de fitotoxicidad del compost producido en la planta de residuos sólidos municipales de Carhuaz, Ancash... [27].

Las pruebas de generación mostraron que las unidades de muestra eran algo tóxicas según la prueba de Zucconi. (IG: 55.4% para el compost existente y 64.9% para el compost fresco). Como resultado de la prueba de siembra directa, se encontró que cuando el compostaje se realizó al 15%, el 117% del compost original y el 105% del compost crudo provinieron de la biomasa nueva. Con un 30% de compost, la producción de biomasa disminuyó al 56,6% para el compost convencional y al 95,7% para el compost crudo. Con un 45% de abono, el valor biológico es del 14,9% para el abono viejo y del 75% para el abono fresco. Al no cumplirse lo establecido por la ÖNORM S2023, tiene efectos tóxicos sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas. [27].

Además, los síntomas eran muy visibles en las hojas, debido a la toxicidad que provocan las sales y metales pesados en altas concentraciones. En general se puede observar que el compost producido en la finca ecológica de RSU de Carhuaz es algo tóxico, en base a la tecnología de compostaje manual utilizada en la planta de tratamiento. En este entendido, el autor señala que el compostaje no debe darse por sentado, ya que puede provocar graves problemas si no se planifica y gestiona adecuadamente. Además, no asuma que todo el abono tiene las mismas propiedades y produce los mismos resultados cuando se aplica. [27].

En el estudio "Remediación de suelos contaminados con plomo (Pb) mediante el empleo de Girasol (*Helianthus annuus*) y estiércol de lombriz roja (*Eisenia foetida*) en condiciones controladas", los objetivos del estudio son identificar los métodos de tratamiento más eficaces para la recuperación de suelos contaminados (Pb), determinar las concentraciones de Pb en el suelo y las principales características del suelo bajo buen tratamiento e indicar el comportamiento de las plantas con flores. . . Durante el proceso de reparación. Para realizar la investigación se recolectaron los materiales necesarios y se colocaron en un ambiente de invernadero de propagación de plantas cultivadas de la Facultad de Agronomía de la UNSA, en Arequipa, Perú.

Los controles y tratamientos se controlaron para obtener resultados comparables después de los análisis entre estudios. El análisis, procesamiento de datos y gestión de los resultados mostraron que el tratamiento T2 logró la mayor remoción de plomo del suelo contaminado con una eficiencia del 81,21%. [28].

En un estudio llevado a cabo en el Distrito de Cocachacra - Valle de Tambo, se investigaron los niveles de boro y arsénico en el suelo. Se midieron las concentraciones respectivas de ambos elementos. La investigación se clasificó como descriptiva y experimental, con un total de 6 muestras de prueba. Se utilizó una técnica de muestreo aleatorio simple para recolectar muestras compuestas de cada punto de muestreo de suelo a una profundidad de 30 cm en el área de estudio. [28].

Los resultados obtenidos de la caracterización del suelo para el área de Cocachacra mostraron que el área es apta para la agricultura y el almacenamiento de boro y arsénico. De manera similar, cuando se examinaron los valores de boro y arsénico, se detectó boro en concentraciones muy altas que oscilaban entre 221,0 mg/kg y 346,5 mg/kg y arsénico en concentraciones que oscilaban entre 49,1 mg/kg y 57,1 mg/kg. Por ser arsénico el arsénico supera los niveles máximos permisibles de arsénico según el Decreto Supremo N° 002-2014-MINAM Normas de Calidad Ambiental (ECA) de Suelos [29].

En el año 2020, una investigación de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) concluyó que el río Tambo, Islay (Arequipa) estaba alterado con metales pesados (boro, arsénico, etc.). La contaminación del agua se manifiesta por un cambio en el color del agua de verde a amarillo o naranja oscuro. Según el Centro Nacional de Atención a Emergencias (COEN), el problema está identificado desde 2016 y se cree que es de origen natural. Los estudios demuestran que el río Titire, uno de los principales afluentes del río Tambo, está mineralizado y tiene géiseres en su lecho. La situación se agravó con el cierre del depósito de relaves de la división Florencia Tucari de la Compañía Minera Aluntani. La descarga se realizó con Titire. Los investigadores señalan que el arsénico es un potente carcinógeno. Javier Montalvo, profesor e investigador de la Universidad Católica San Pablo (UCSP), explicó que el metal se encuentra en varios ríos del sur del Perú. [30]

Ronald Fernández, titular de la Autoridad Administrativa del Agua de Caprina Ocoña, afirmó que el río Tambo estaba contaminado con altos niveles de arsénico. Y esto tiene implicaciones para la cosecha y el consumo humano. Fernández presentó un estudio sobre niveles de arsénico. En el caso de la cebolla, su contenido es 5 veces el límite máximo

permitido. 6 veces más para olivos y 4 para arroz en la zona de Cocachacra. "Por eso no podemos exportar olivos", expresó Fernández. [30]

Así como nuestros productos están contaminados, también lo está el agua que consumen nuestros ciudadanos. Zacarias Madariaga, jefe de salud de la región Arequipa (Guerezas), explicó que el consumo de agua de los habitantes no es el óptimo. De las 42 personas analizadas el 17 y 18 de junio de 2022, 37 (91%) excedieron los niveles máximos permitidos de arsénico y boro, pero esta contaminación se encontró en la cuenca del río Titire, una zona volcánica que se genera a partir de Este recurso es aprovechado por las minas, proveyendo agua limpia desde la Presa Viscachas. [30]

## **2.2 Bases teóricas**

### **Vermicompost**

El vermicompostaje es un proceso de descomposición biológica no termofílica que ocurre a través de las interacciones entre lombrices de tierra, microorganismos, materia orgánica y agua, convirtiendo así la materia orgánica en biofertilizante. La estructura de esta mezcla es similar a la del suelo forestal o a la de la turba, y presenta una alta transpirabilidad, porosidad, capacidad hídrica y, sobre todo, una elevada actividad microbiana. Lo más importante es que la actividad intestinal de la lombriz de tierra está mediada por moco y enzimas microbianas, que desempeñan un papel importante en la descomposición de macromoléculas y micromoléculas. [31].

Por otro lado, el vermicompost también se considera un proceso de biooxidación realizado por la lombriz de tierra. Este proceso se lleva a cabo durante la digestión y ocurre en dos etapas: la primera es un proceso físico-mecánico que implica la aireación, mezcla y trituración de la materia orgánica, seguido de un segundo momento de tipo bioquímico, donde los azúcares, aminoácidos, lípidos y celulosa son descompuestos por bacterias. Además, el productor de vermicompost debe considerar aspectos como la escala de producción, la frecuencia de riego y el tipo de materia orgánica utilizada como alimento. Las lombrices que consumen materia orgánica se sirven de protozoos, rotíferos, nemátodos, bacterias y hongos para obtener sus nutrientes. Es importante mencionar que el material consumido por la lombriz se distribuye entre un 5-10% para el crecimiento y las actividades metabólicas; el 85% restante se excreta como vermicompost, que contiene orina (en

forma de amoníaco) y mucoproteínas.[32].

La obtención de un vermicompost maduro, rico en nutrientes y microbiota, está vinculada al uso de lombrices, típicamente del género *Eisenia foetida* y *Eisenia andrei*. Estas lombrices se alimentan de material orgánico, descomponiéndolo durante el proceso digestivo y convirtiéndolo en un material enriquecido que beneficia al suelo. El proceso de vermicompostaje implica la adición regular de capas delgadas de materia orgánica fresca, como desechos vegetales de cáscaras u hojas, preferiblemente maceradas, para servir como alimento nuevo para las lombrices. Entre los beneficios del vermicompost se encuentran la obtención de nutrientes, la mejora de la aireación y el drenaje del suelo, lo cual facilita el desarrollo de las raíces y promueve la aparición de microorganismos simbióticos que inhiben la proliferación de patógenos. [33].

El sistema digestivo de las lombrices de tierra es relativamente simple y consta de boca, faringe, esófago, buche (llamada zona de recepción) y molleja. El intestino anterior es donde se secretan enzimas. La cavidad bucal posee una musculatura que permite la succión del material orgánico o microorganismos, llevándolos de la faringe al esófago. El esófago cuenta con glándulas calcíferas que secretan calcio. El intestino está dividido en cuatro áreas: una parte anterior contráctil que segrega moco y proteínas, seguida de una región del intestino medio ciliada; luego, la parte del intestino revestida por una membrana peritrófica que culmina en el ano. Durante el proceso digestivo, la materia orgánica ingerida se une al moco secretado por el epitelio bucal. La locomoción también interviene en el proceso, ayudando en el tránsito de los materiales a través del intestino. [34].

### **Descripción del maíz (*Zea mays*)**

El maíz (*Zea mays*) presenta una capacidad limitada de ahijamiento, y la aparición de vástagos adicionales se considera perjudicial para su productividad. Este cultivo requiere suelos estructurados, fértiles y profundos que favorezcan el desarrollo de raíces, eviten encharcamientos, almacenen agua y permitan una óptima absorción de nutrientes. Además, necesita una exposición significativa a la luz, siendo su rendimiento menor en climas húmedos. El maíz tolera temperaturas mínimas de hasta 8°C, pero puede enfrentar problemas a partir de los 30°C debido a dificultades

en la absorción de nutrientes y agua. La planta, con su amplia superficie foliar propicia para la fotosíntesis, es sensible a temperaturas elevadas y a la falta de humedad en el suelo. [35].

Las plantas de maíz (*Zea mays*) pueden estar expuestas al arsénico a través de diversas fuentes. Varios estudios han demostrado que países con una alta producción de maíz (*Zea mays*), como China, Argentina, India y México (con 11.6, 2.8, 2.6 y 0.8 millones de toneladas en 2011, respectivamente), tienen regiones donde la concentración promedio mundial de arsénico en el suelo es superada. La transferencia de arsénico dentro del cultivo varía entre las especies. [Por ejemplo, el arroz, el trigo y la cebada cultivados en el mismo suelo mostraron una transmisibilidad del 9%, 6% y 2%, respectivamente. Además, el movimiento de arsénico en diferentes especies está influenciado por las características del suelo agrícola, incluido el contenido total de arsénico y las especies, así como la diversidad y naturaleza de la ubicación del producto. El maíz (*Zea mays*) se utiliza como alimento para animales, lo que significa que los animales de granja pueden ingerir arsénico a través del tubérculo del maíz. Sin embargo, la salud humana también puede verse afectada por el consumo de productos animales contaminados.36].

### **Descripción del arsénico**

La exposición al arsénico proviene de muchas fuentes, incluido el uso y fabricación de pesticidas y herbicidas, la minería y la fundición, la metalurgia y la refinación, el uso de combustibles fósiles, el uso de medicamentos y tratamientos, el contacto con árboles tratados con arsénico y la distribución de arsénico. Alimentos y agua contaminados. La principal forma de exposición no laboral al arsénico es a través de los alimentos y el agua. [37].

En el caso de las explotaciones mineras, la contaminación del suelo puede alcanzar niveles significativos debido a procesos como la oxidación de sulfuros, como la pirita, que moviliza el arsénico, y la precipitación de óxidos y oxihidróxidos de hierro, que resultan en la adsorción del arsénico.

El suelo y el agua locales son una de las principales fuentes de exposición de organismos al arsénico por inhalación, inhalación o contacto con la piel. El arsénico también puede entrar en la cadena alimentaria y acumularse en frutas, verduras y

cultivos cultivados en suelos contaminados. [38].

El arsénico se considera extremadamente tóxico y cancerígeno, dado que está aumentando en el ecosistema debido a la urbanización y la industrialización. Diferentes modos como erupciones volcánicas, meteorización de rocas, minería, fundición, pesticidas, etc. inducen niveles de arsénico en el medio ambiente [39].

El consumo continuado de alimentos cultivados en suelos con niveles elevados de arsénico por encima del estándar establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) aumenta el riesgo de accidente cerebrovascular, pérdida de sangre, aterosclerosis carotídea, enfermedad de las arterias coronarias, muerte por infarto agudo, infarto etc. y la muerte se ha demostrado que aumenta En enfermedades cardiovasculares y diabetes tipo 2 en la población pediátrica. Un estudio realizado en Bangladesh encontró que los efectos cardiovasculares ocurren antes que los efectos del cáncer en personas expuestas al arsénico durante toda su vida. Se dice que el riesgo aumenta con la cantidad de arsénico a la que están expuestos los humanos. [40].

## **CAPÍTULO II: METODOLOGÍA**

### **3.1 Métodos, tipo y alcance de la investigación**

#### **Método de investigación**

El método de investigación del presente estudio es cuantitativo, ya que involucra datos cuantificables (cantidades y magnitudes). Utilizaremos muestras representativas como criterio de validación. Además, estos resultados numéricos serán expresados de manera organizada jerárquicamente a través de cuadros estadísticos, gráficos, entre otros, que nos permitan contrastar y contrastar la información obtenida.

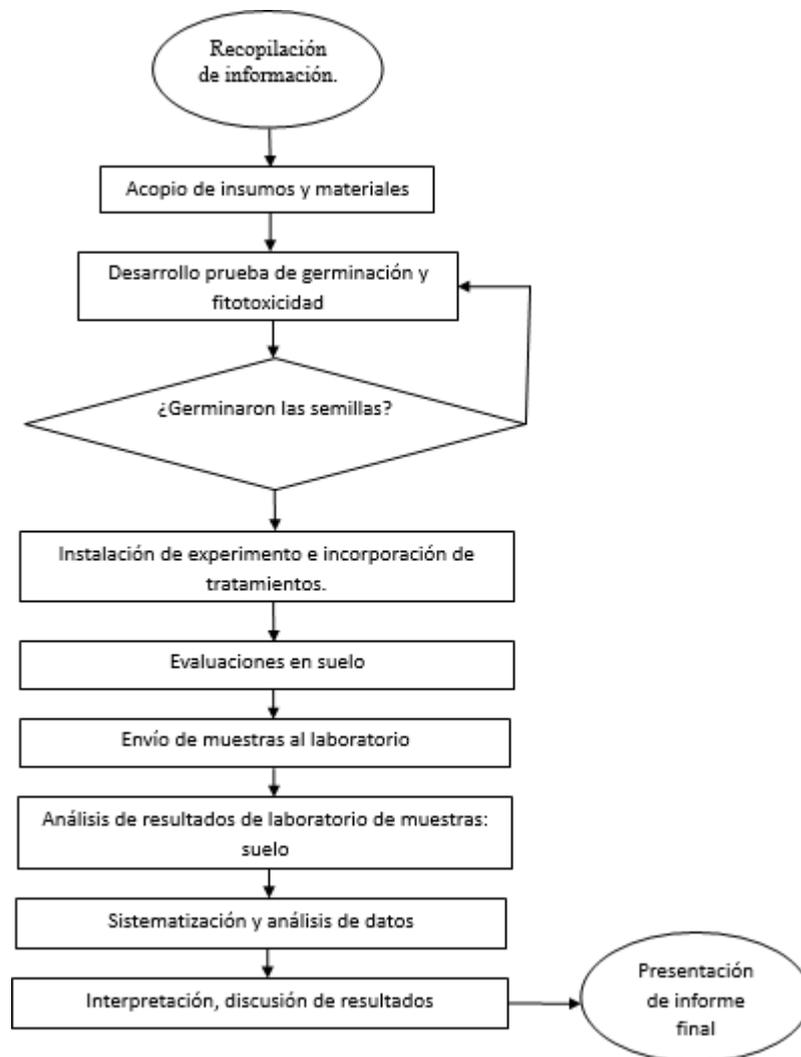
#### **Alcance de la investigación**

El tipo de investigación de este estudio es descriptivo-correlacional. Se clasifica como descriptivo porque busca especificar las características y perfiles de los diferentes niveles de suelo mediante un análisis detallado. Además, se considera correlacional porque permite examinar la relación entre la aplicación de vermicompost y la reducción de arsénico en las diferentes muestras, lo que nos permite categorizarlas y contrastarlas.

#### **Diseño de la investigación**

La investigación sigue un diseño experimental, específicamente un Diseño Completamente al Azar, caracterizado por su aleatorización y repetición. Este enfoque se elige cuando no es necesario realizar evaluaciones locales debido a la homogeneidad de los factores. Se implementarán cinco tratamientos, cada uno con tres repeticiones, totalizando así 15 unidades experimentales. [41].

La presentación tuvo la siguiente secuencia:



*Fuente: Elaboración propia.*

*Diagrama 1. Recopilación de información.*

En el proceso de aplicación de los tratamientos, se utilizaron 4 kg de suelo agrícola por cada unidad experimental, los cuales fueron extraídos de la capa superficial del suelo. Este suelo se sometió a un proceso de secado al aire y tamizado. Posteriormente, los suelos preparados se colocaron en macetas, donde se llevaron a cabo las aplicaciones de los tratamientos. Todo el proceso se llevó a cabo bajo un cobertor rústico. Se sembró maíz (*Zea mays*) en las macetas y se monitoreó su crecimiento durante un período de 112 días, alcanzando finalmente la etapa de floración de acuerdo con el diseño experimental de modelo aditivo lineal. [42]:

$$\gamma_{ik} = \mu + \tau_i + \epsilon_i$$

Donde:

$\gamma_{ik}$  = cualquier observación extraída del experimento.

$\mu$  = media poblacional del experimento.

$\tau_i$  = efecto del i-ésimo tratamiento.

$\epsilon_i$  = error experimental.

i = cualquier tratamiento.

## **Población y muestra**

### **Población**

Para la investigación se consideró como población el suelo contaminado con arsénico en la ciudad de Arequipa.

### **Muestra**

La muestra para nuestro estudio consistió en un suelo preparado homogéneamente, compuesto por arena de río y aserrín, simulando la composición de un suelo agrícola en la ciudad de Arequipa. Posteriormente, fue contaminado con una solución de arsénico de 80 ppm.

Para la presente investigación, se consideraron 4 kilogramos de suelo para cada tratamiento biorremediador (3 tratamientos por nivel, en diferentes macetas, lo que suma un total de 15 muestras). La cantidad de vermicompost incorporada será determinada porcentualmente según lo estimado previamente por muestra y en sus diferentes niveles, ya que en proyectos anteriores se trabajó con la misma proporción de vermicompost para el mismo volumen de suelo.

### **3.2 Materiales y métodos.**

- Baldes medianos.
- Regadera
- Balanza
- Pala
- Semilla de maíz (*Zea mays*)
- Solución de arsénico
- Cámara fotográfica
- GPS
- Cuaderno de apuntes
- Lapicero
- Bolsas Ziploc
- Sacos
- Aserrín
- Arena de río
- Vermicompost
- Agua
- Pipeta
- Probeta.
- Agua destilada
- Vasos pequeños de plástico.



*Fotografía 1. Material para la experimentación*

## **Método**

### **Método para la germinación del maíz (*Zea mays*):**

- Para nuestra investigación, se dispondrá de 100 semillas de maíz (*Zea mays*), las cuales serán puestas en remojo durante 48 horas.
- Después, sacaremos las semillas remojadas y las colocaremos en un recipiente hondo donde permanecerán durante 5 días, cubiertas por una tela que mantenga la humedad.
- Se aplicarán pequeñas cantidades de agua según sea necesario para mantener la humedad y permitir que las semillas comiencen a germinar.
- Después de esperar 5 días, obtendremos resultados óptimos para continuar con la parte experimental del estudio.



*Fotografía 2. Semillas germinadas*

### **Método preliminar:**

- Primero, realizaremos una primera prueba, la cual nos permitirá determinar la cantidad de arsénico a utilizar, siguiendo el siguiente procedimiento:
  - En 5 pequeños recipientes, se incluirá una muestra de suelo de 100 gramos cada uno. En cada recipiente, se aplicarán 80 ppm de arsénico en diferentes cantidades: 1 ml, 2 ml, 3 ml, 4 ml y 5 ml.
  - Luego, procederemos a sembrar semillas en cada muestra, con el fin de observar la germinación más cercana posible sobre las semillas de maíz (*Zea mays*), y así determinar cuál es la cantidad de arsénico a ser considerada para la investigación.



*Fotografía 3. Prueba de arsénico en cantidades pequeñas.*

## Prueba preliminar

- Para iniciar debemos haber logrado una solución de arsénico de 80 ppm. Sabiendo que la solución de arsénico que tenemos es de 100 ppm en una capacidad de 500ml. Para ello emplearemos la fórmula de diluciones. Sabiendo que, 1 ppm = 1 mg/l.

$$C1 \cdot V2 = C2 \cdot V1$$

**C1:** Concentración 1

**V1:** Volumen 1

**C2:** Concentración 2

**V2:** Volumen 2

- Teniendo la respectiva concentración exacta, procederemos con la elaboración preliminar que determina cuánto de arsénico aplicaremos para nuestras 15 macetas. Para ello usaremos 5 vasos de plástico en los cuales incluiremos aserrín, arena de río y vermicompost sumando una cantidad de 100 gramos en total por vaso.

### Primer vaso:

Capacidad 100 mg.

- 1 ml de solución de arsénico.
- Semilla de maíz (*Zea mays*).
- Aserrín.
- Arena de río.
- Vermicompost.

### Segundo vaso:

Capacidad 100 mg.

- 2 ml de solución de arsénico.
- Semilla de maíz (*Zea mays*).
- Aserrín.
- Arena de río.
- Vermicompost.

**Tercer vaso:**

Capacidad 100 mg.

- 3 ml de solución de arsénico.
- Semilla de maíz (*Zea mays*).
- Aserrín.
- Arena de río.
- Vermicompost.

**Cuarto vaso:**

Capacidad 100 mg.

- 4 ml de solución de arsénico.
- Semilla de maíz (*Zea mays*).
- Aserrín.
- Arena de río.
- Vermicompost.

**Quinto vaso:**

Capacidad 100 mg.

- 5 ml de solución de arsénico.
- Semilla de maíz (*Zea mays*).
- Aserrín.
- Arena de río.
- Vermicompost.

- A cada vaso le agregaremos la correspondiente solución de 80 ppm de arsénico, de esta manera uniformamos la concentración en cada una de las muestras preliminares de 100 mg.
- Luego vamos a sembrar el maíz (*Zea mays*). Echaremos 2 semillas de maíz (*Zea mays*) en cada vaso a una distancia de 2 a 3 centímetros.
- Regaremos nuestra siembra hasta que empiece a filtrar el agua, pero lo haremos en 3 tiempos, permitiendo así que el suelo absorba el agua y poco a poco vaya llegando a toda la muestra. Ya que, si le aplicamos

el agua en un solo tiempo, corremos el riesgo de que la semilla flote y no se arraigue como debería.

- Esperamos de 7 a 10 días para que germine el maíz (*Zea mays*) y nos fijamos con detenimiento cuál fue la que germinó primero y en qué condiciones.

#### **Método oficial:**

- Prepararemos la cantidad de arsénico a aplicar a nuestras muestras. La solución adquirida es de 100 ppm, por lo que siguiendo la fórmula de disoluciones conseguiremos los 80 ppm que vamos a utilizar para aplicar a nuestras muestras experimentales.
- Procederemos a preparar el suelo donde se desarrollarán nuestras semillas de maíz (*Zea mays*), donde consideraremos porcentajes de aserrín, arena de río y vermicompost de acuerdo a los niveles a experimentar.

#### **Prueba oficial.**

##### **Maceta al 0% (Muestra testigo)**

- Muestra 4 kg.
- Arena de río 2.8 kg.
- Aserrín 1.2 kg.
- 1 litro de agua.
- 6 semillas de maíz (*Zea mays*).

##### **Maceta al 20%**

- Muestra 4 kg.
- Vermicompost 800 gramos.
- Arena de río 2.24 kg.
- Aserrín 0.960 gramos.
- 1 litro de agua.
- 6 semillas de maíz (*Zea mays*).

#### **Maceta al 40%**

- Muestra 4 kg.
- Vermicompost 1.60 kg.
- Arena de río 1.68 kg.
- Aserrín 0.720 gramos.
- 1.25 litro de agua
- 6 semillas de maíz (*Zea mays*).

#### **Maceta al 60%**

- Muestra 4 kg.
- Vermicompost 2.4 kg.
- Arena de río 1.12 kg.
- Aserrín 0.480 gramos.
- 1.5 litro de agua.
- 6 semillas de maíz (*Zea mays*).

#### **Maceta al 80%**

- Capacidad 4 kg.
- Vermicompost 3.2 kg.
- Arena de río 0.560 gramos.
- Aserrín 0.240 gramos.
- 1.5 litro de agua.
- 6 semillas de maíz (*Zea mays*).

- Después de preparar nuestras muestras en sus diferentes niveles y de perforar los baldes para permitir el flujo del agua, procederemos a aplicar el arsénico.
- Prepararemos la solución de arsénico con agua destilada, aplicando concentraciones precisas según los cálculos realizados para cada maceta. Las mezclas se agitarán horizontalmente antes de ser aplicadas a la planta a temperatura ambiente. Después de agitar la muestra, se dejará reposar durante 15 minutos antes de proceder al riego de cada maceta, aplicando una concentración de 40 ml de contaminante por muestra.
- Las muestras se colocarán en un ambiente adecuado para su desarrollo,

a una temperatura mínima de 18°C para favorecer su germinación. Para ello, nos basaremos en los datos meteorológicos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, lo que nos permitirá conocer las previsiones climáticas para los días restantes del período de crecimiento y tomar las precauciones necesarias.

- El riego proporcionado a nuestras muestras será de 2 a 3 veces por semana, ya que el vermicompost, aunque es un excelente recurso para la biorremediación de nuestro suelo, tiende a absorber el agua muy rápidamente.
- Pasados los primeros 10 días, tendremos en cuenta la posibilidad de que alguna plaga o enfermedad pueda atacar nuestro cultivo. Por ello, se llevará a cabo un control de plagas y enfermedades utilizando tierra de diatomeas a una tasa de 2 kg/ha.
- Se realizará un análisis visual del cultivo de maíz (*Zea mays*) para determinar su crecimiento en presencia del contaminante a diferentes niveles de concentración del agente remediativo.



**Fotografía 4.** Colocación de las semillas en los baldes.



*Fotografía 5. Perforación de los baldes para la oxigenación de la muestra.*



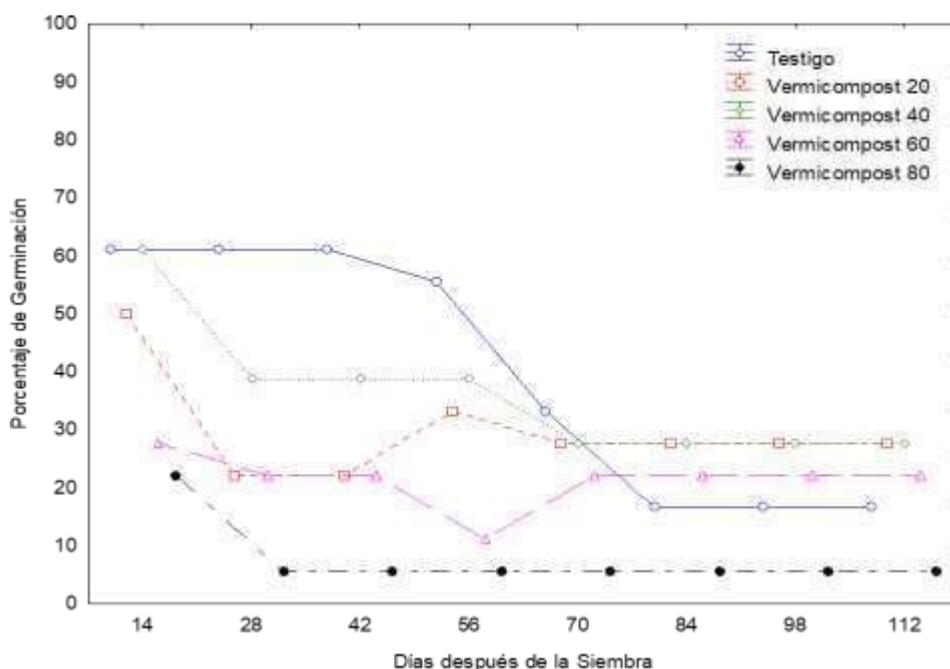
*Fotografía 6. Crecimiento progresivo del cultivo.*

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Presentación de resultados.

Después de haber realizado el experimento, daremos a conocer los resultados obtenidos a partir de nuestro análisis físico-químico, realizado por el Laboratorio de Investigación y Servicios "LABINVSERV" de la Universidad Nacional de San Agustín. Estos resultados fueron analizados mediante un análisis de varianza, también conocido como Test de Fisher, y una prueba de rango múltiple, más comúnmente denominada test de Duncan.

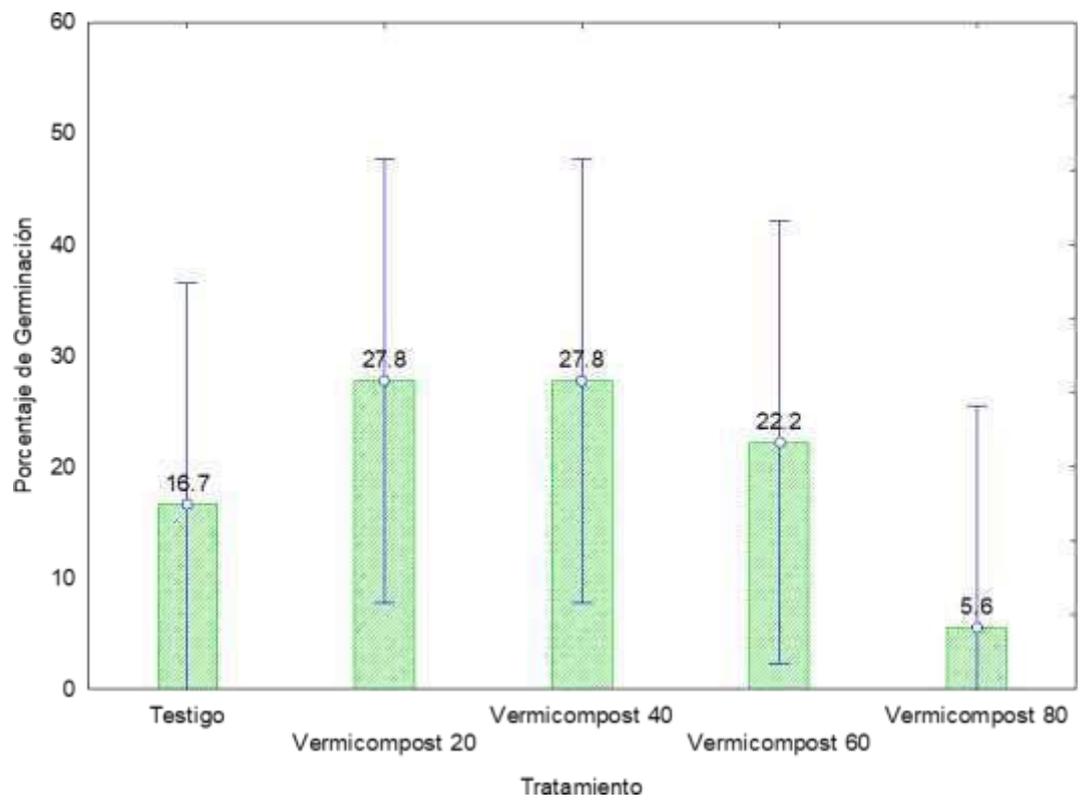
#### 4.1.1 Porcentaje de Germinación.



*Fuente: Elaboración propia*

**Ilustración 1. Porcentaje de germinación**

En el gráfico mostrado, se puede apreciar que el mayor porcentaje de germinación se registró en el grupo de control durante las primeras tres evaluaciones. Luego, el tratamiento 3 con vermicompost al 40% mostró un menor porcentaje de germinación al inicio, pero en las últimas evaluaciones superó al grupo de control, al igual que el tratamiento 2 con vermicompost al 20%. Por otro lado, para el tratamiento 5 con vermicompost al 80%, el porcentaje de germinación se mantuvo por debajo del 10%.



*Fuente: Elaboración propia*  
**Ilustración 2 Porcentaje de germinación**

Al concluir la evaluación mediante el test de Fisher o análisis de varianza, se observa que todos los tratamientos son estadísticamente iguales ( $p > 0.05$ ). En otras palabras, la aplicación de vermicompost no presenta ningún efecto significativo sobre el porcentaje de germinación.

Porcentaje de Germinación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	p
Intercept	1	6000.8	6000.8	24.92908	0.000543
Tratamiento	4	1036.941	259.235	1.07694	0.417848
Error	10	2407.148	240.715		
Total	14	3444.089			

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 1.** Porcentaje de germinación

**Duncan test; variable Porcentaje de Germinación Homogenous Groups, alpha = .05000**

**Error: Between MS = 240.71, df = 10.000**

	Tratamiento	Porcentaje de Germinación	1
5	Vermicompost 80	5.55667	****
1	Testigo	16.67000	****
4	Vermicompost 60	22.22333	****
2	Vermicompost 20	27.77667	****
3	Vermicompost 40	27.78000	****

*Fuente: Elaboración propia*

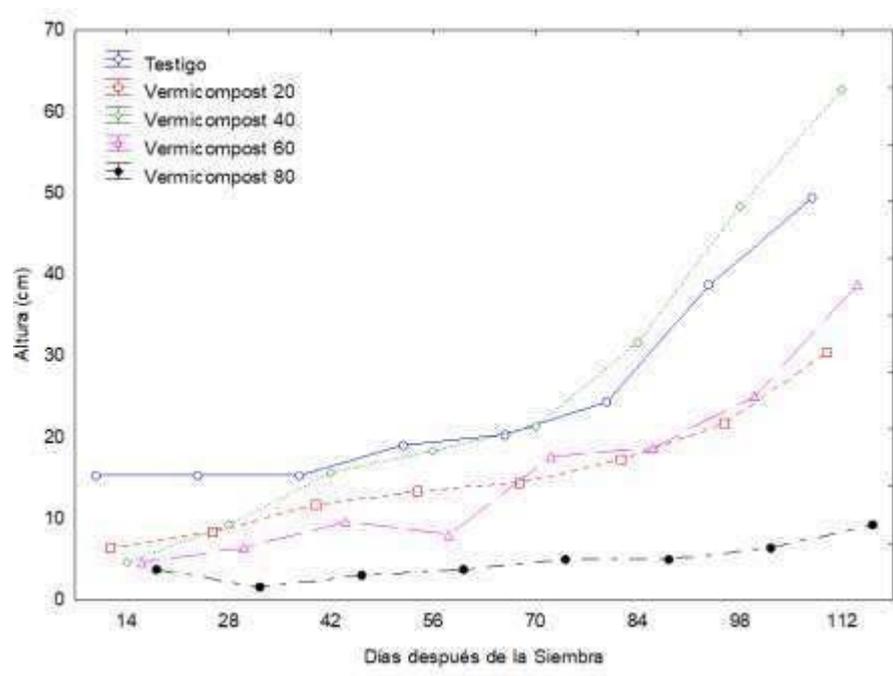
**Tabla 2.** Prueba de Duncan del porcentaje de germinación

En el test de Duncan se observa que todos los tratamientos forman un solo grupo, por lo tanto son iguales.



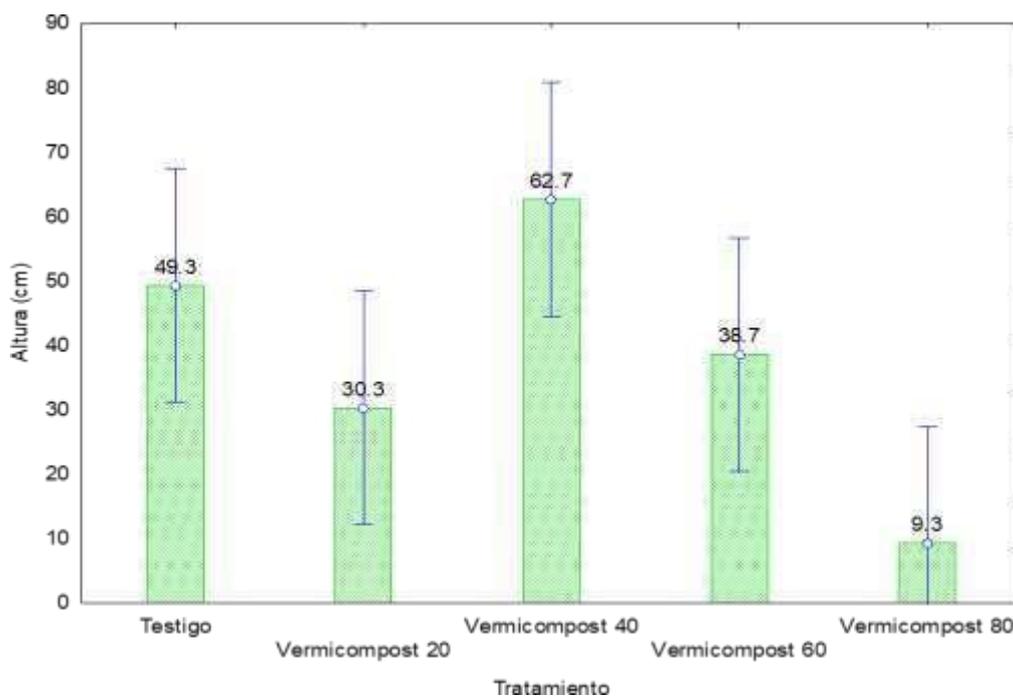
*Fotografía 7. Semillas germinadas*

#### 4.1.2 Altura de planta



*Fuente: Elaboración propia*  
**Ilustración 3. Altura de planta**

Para el caso de la altura de la planta, se observa que el tratamiento 3, con vermicompost al 40%, muestra una mejor respuesta a partir del día 84, mientras que los demás tratamientos presentan alturas menores desde el día 42.



*Fuente: Elaboración propia*  
**Ilustración 4. Altura de la planta**

Para el final de la evaluación se observó que el tratamiento 5 con vermicompost al 80% tuvo la menor altura, esto debido a que la planta tuvo doble estrés tanto por el arsénico y también por el contenido de sales del vermicompost ( $p < 0.05$ ).

Altura	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	p
<b>Intercept</b>	1	21736.07	21736.07	109.4832	0.000001
<b>Tratamiento</b>	4	4853.6	1213.4	6.1118	0.009378
<b>Error</b>	10	1985.33	198.53		
<b>Total</b>	14	6838.93			

*Fuente: Elaboración propia*  
**Tabla 3. Altura de la planta**

**Duncan test; variable Altura (cm) Homogenous Groups, alpha = .05000 Error: Between MS = 198.53, df = 10.000**

	Tratamiento	Altura (cm)	1	2	3
5	Vermicompost 80	9.33333			****
2	Vermicompost 20	30.33333	****		****
4	Vermicompost 60	38.66667	****	****	
1	Testigo	49.33333	****	****	
3	Vermicompost 40	62.66667		****	

*Fuente: Elaboración propia*

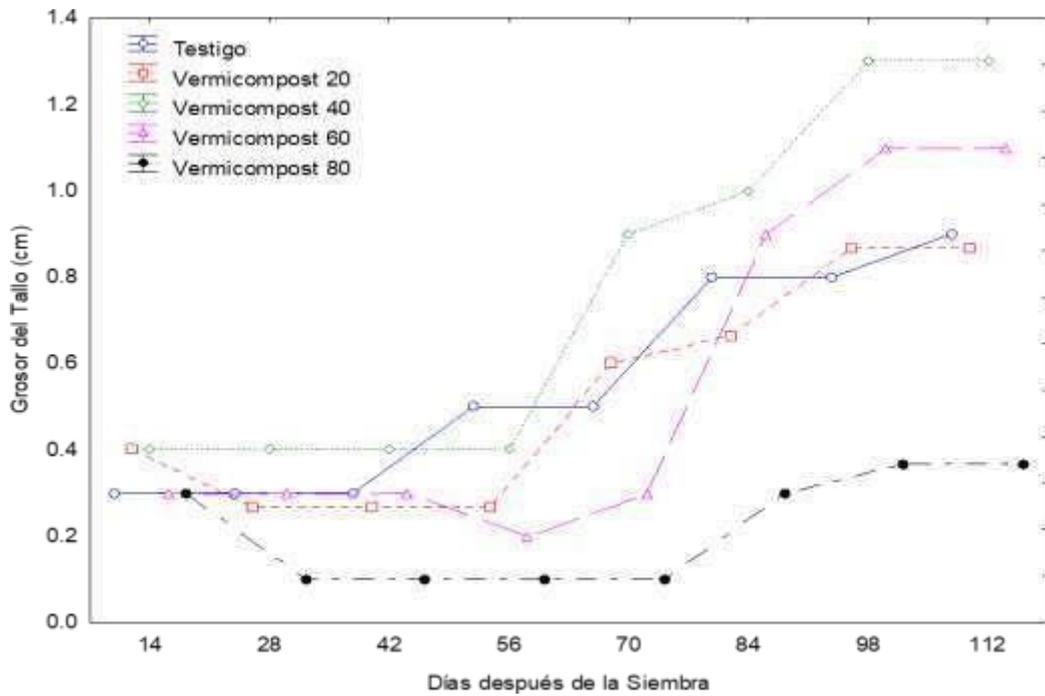
**Tabla 4. Prueba de duncan de altura de la planta**

En el test de Duncan se visualizó que hay tres grupos formados por el grupo de control, el tratamiento 4 con vermicompost al 60% y el tratamiento 3 con vermicompost al 40%, que son superiores al segundo grupo formado por el vermicompost al 20% y al 80%. Esto podría deberse a que la cantidad de vermicompost utilizada provocó que la planta acumulara un poco más de arsénico de lo habitual, como se puede observar el contenido de arsénico permanente en el suelo en el tratamiento 2 con vermicompost al 20%.



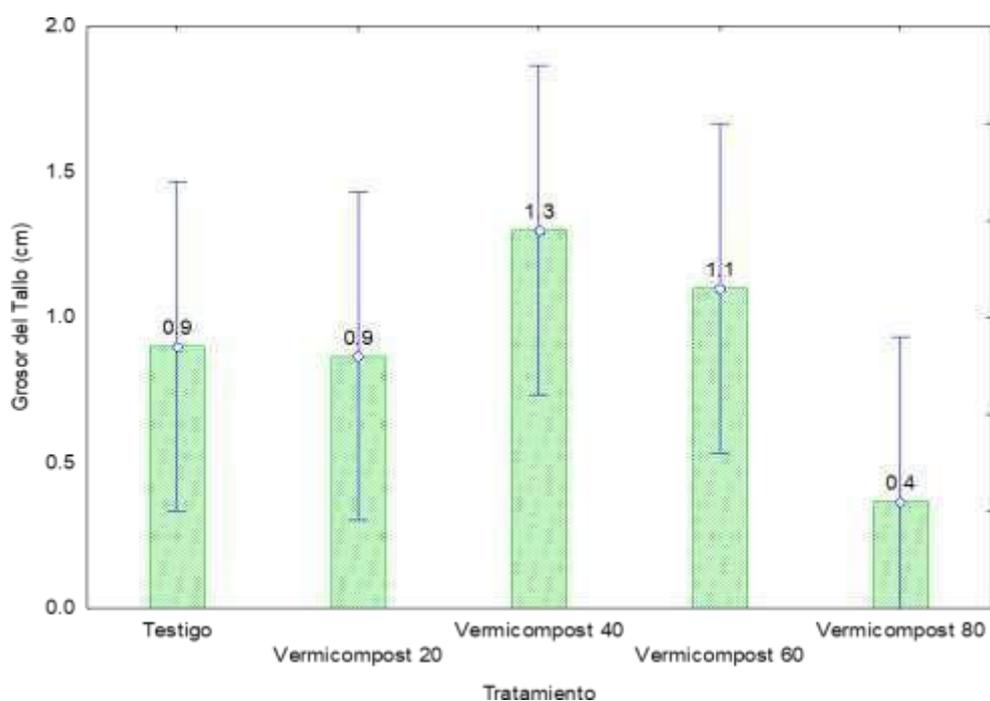
**Fotografía 8. Altura del cultivo**

### 4.1.3 Grosor del tallo



*Fuente: Elaboración propia*  
*Ilustración 5. Grosor del tallo*

Para el grosor del tallo, se observa que los tratamientos 3 y 4, con vermicompost al 40% y 60% respectivamente, han mostrado un mayor engrosamiento comparado con el grupo de control, igual que el tratamiento 2, con vermicompost al 20%. Sin embargo, en el tratamiento 5, con vermicompost al 80%, se encontró el menor grosor de tallo.



*Fuente: Elaboración propia*  
**Ilustración 6. Grosor del tallo**

Para el caso de la evaluación final, no se determinaron diferencias significativas estadísticamente entre los tratamientos ( $p > 0.05$ ).

<b>Grosor del Tallo</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>Intercept</b>	1	12.33067	12.33067	63.77931	0.000012
<b>Tratamiento</b>	4	1.456	0.364	1.88276	0.190101
<b>Error</b>	10	1.93333	0.19333		
<b>Total</b>	14	3.38933			

*Fuente: Elaboración propia*  
**Tabla 5. Grosor del tallo**

**Duncan test; variable Grosor del Tallo (cm) Homogenous Groups, alpha = .05000 Error: Between MS = .19333, df = 10.000**

	<b>Tratamiento</b>	<b>Grosor del Tallo (cm)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>5</b>	Vermicompost 80	0.366667	****	
<b>2</b>	Vermicompost 20	0.866667	****	****
<b>1</b>	Testigo	0.900000	****	****
<b>4</b>	Vermicompost 60	1.100000	****	****
<b>3</b>	Vermicompost 40	1.300000		****

*Fuente: Elaboración propia*

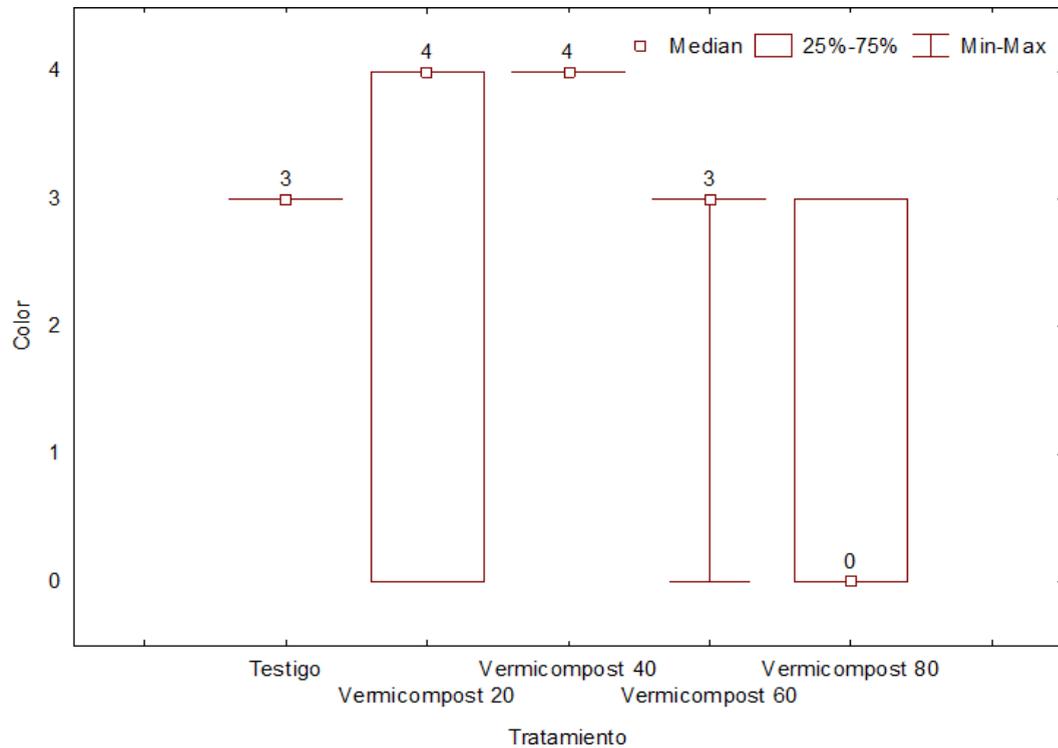
**Tabla 6. Prueba de Duncan del grosor del tallo**

En el test de Duncan sólo se observan diferencias entre el tratamiento 3 y 5 con vermicompost al 80% y al 40% respectivamente, esto debido a la flexibilidad del test estadístico.



**Fotografía 9. Grosor del tallo**

#### 4.1.4. COLOR



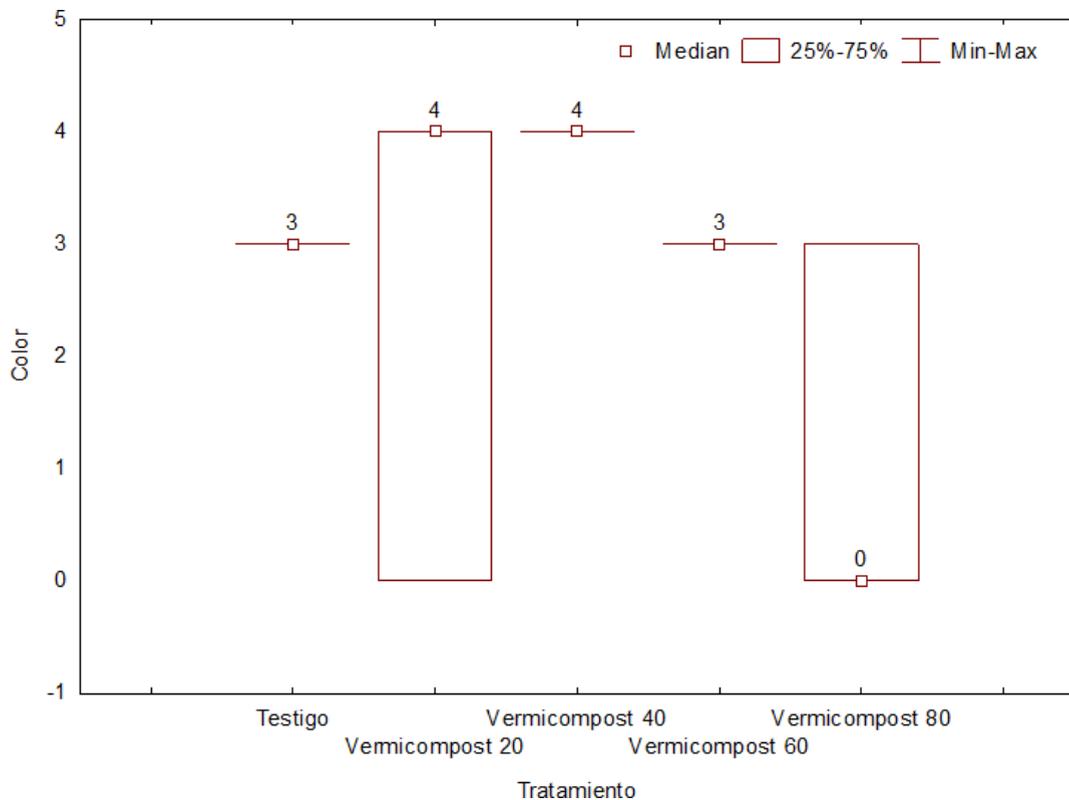
*Fuente: Elaboración propia*  
**Ilustración 7. Color de la planta**

Para el caso del color se tuvieron los siguientes parámetros en función de la clorosis, que es el amarillamiento de las plantas debido a la desnaturalización de las clorofilas debido a algún estrés de origen biótico o abiótico, en este caso la presencia del arsénico.

Valor	Etiqueta
0	Clorosis total
1	Clorosis al 75%
2	Clorosis al 50%
3	Clorosis al 25%
4	Sin Clorosis

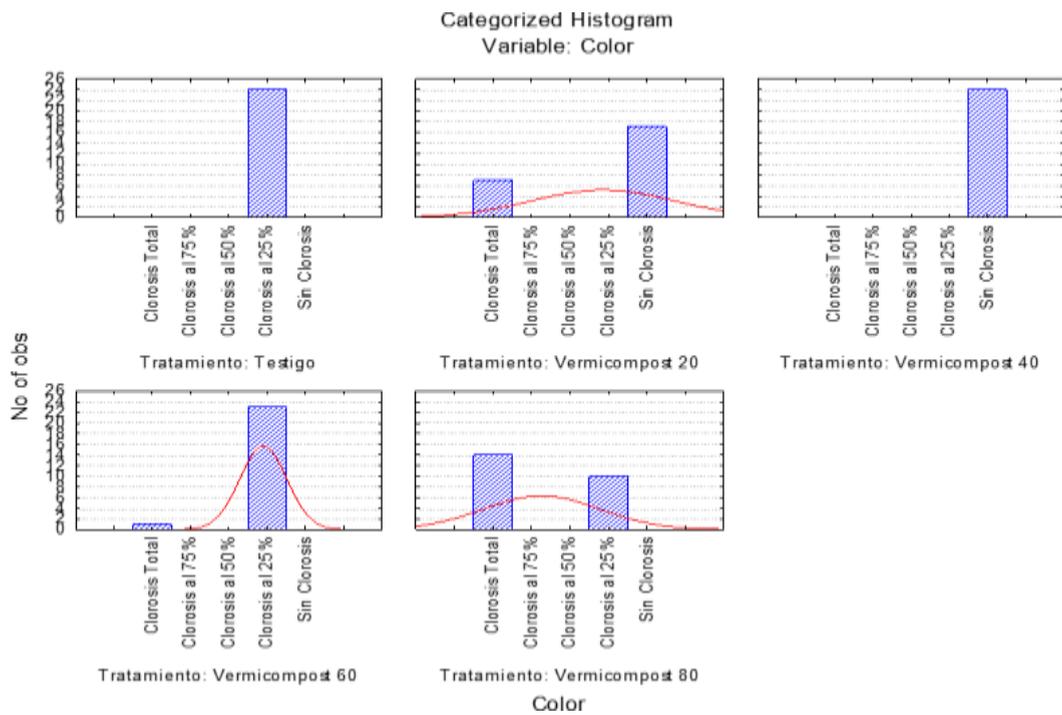
*Fuente: Elaboración propia*  
**Tabla 7. Valor y porcentaje de clorosis**

Se observa que en el grupo de control todas las plantas presentaron clorosis al 25%, mientras que en el tratamiento 3, con vermicompost al 40%, no se observó ningún tipo de clorosis. Esto indica que esta cantidad de vermicompost permite a las plantas de maíz (*Zea mays*) mantener su desarrollo vegetativo en óptimas condiciones y además contribuir a la biorremediación del suelo.



**Fuente:** Elaboración propia  
**Ilustración 8.** Color de la planta

Para la última evaluación el patrón continúa con el mejor desempeño en el tratamiento 3 con vermicompost al 40% y para el tratamiento 5 con vermicompost al 80% todas las hojas tuvieron clorosis.



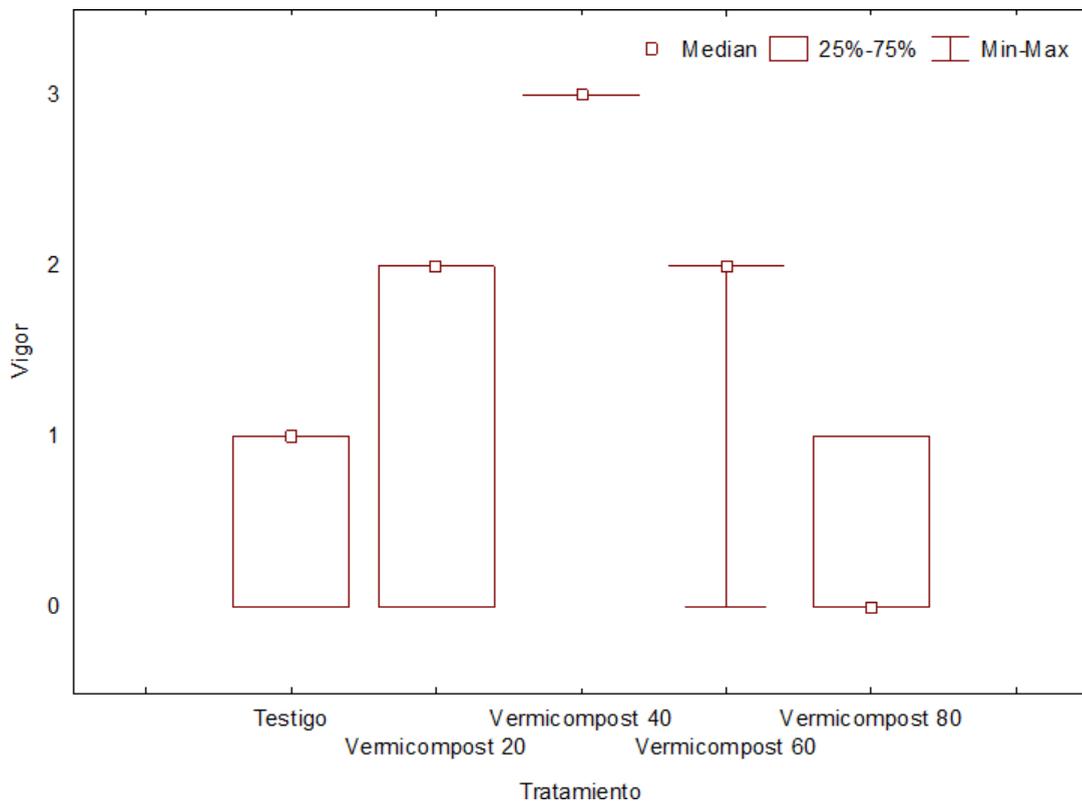
*Fuente: Elaboración propia*  
**Ilustración 9. Histograma de clorosis**

En los gráficos de histogramas y distribución de datos, se puede observar que el mejor tratamiento es el número 3 con Vermicompost al 40%.



*Fotografía 10. Color del cultivo*

#### 4.1.5 Vigor.



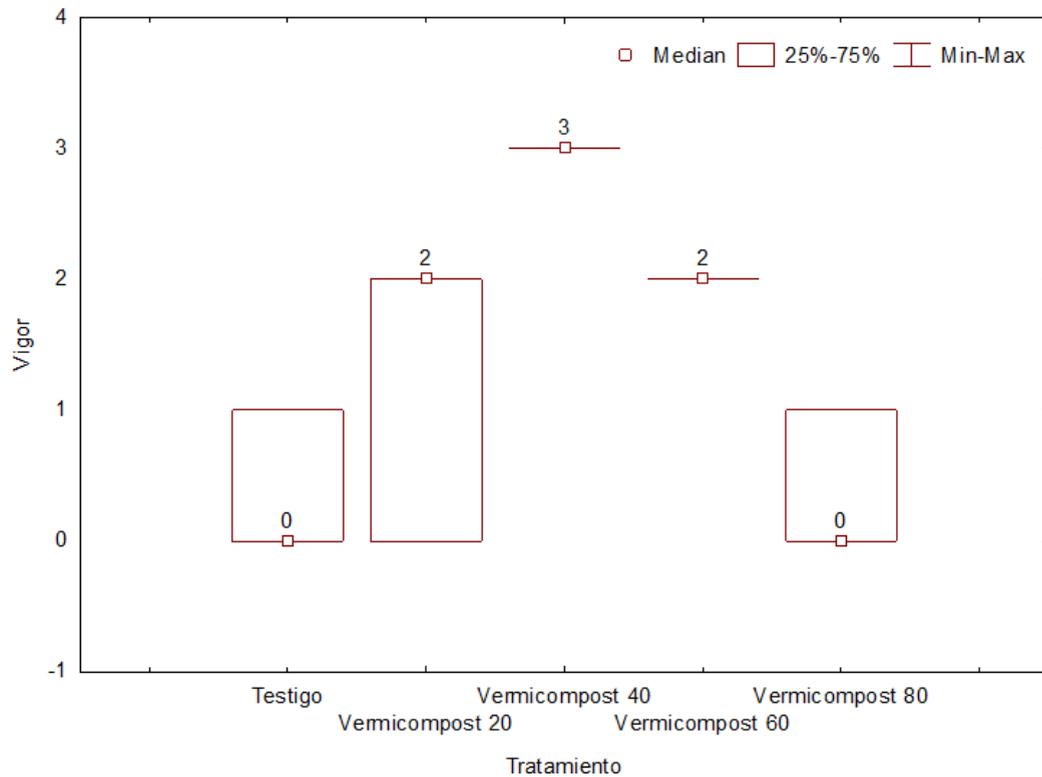
*Fuente: Elaboración propia*  
**Ilustración 10. Vigor de la planta**

Para el caso del vigor se establecieron los siguientes datos:

Valor	Etiqueta
0	Sin vigor
1	Regular
2	Bueno
3	Muy bueno

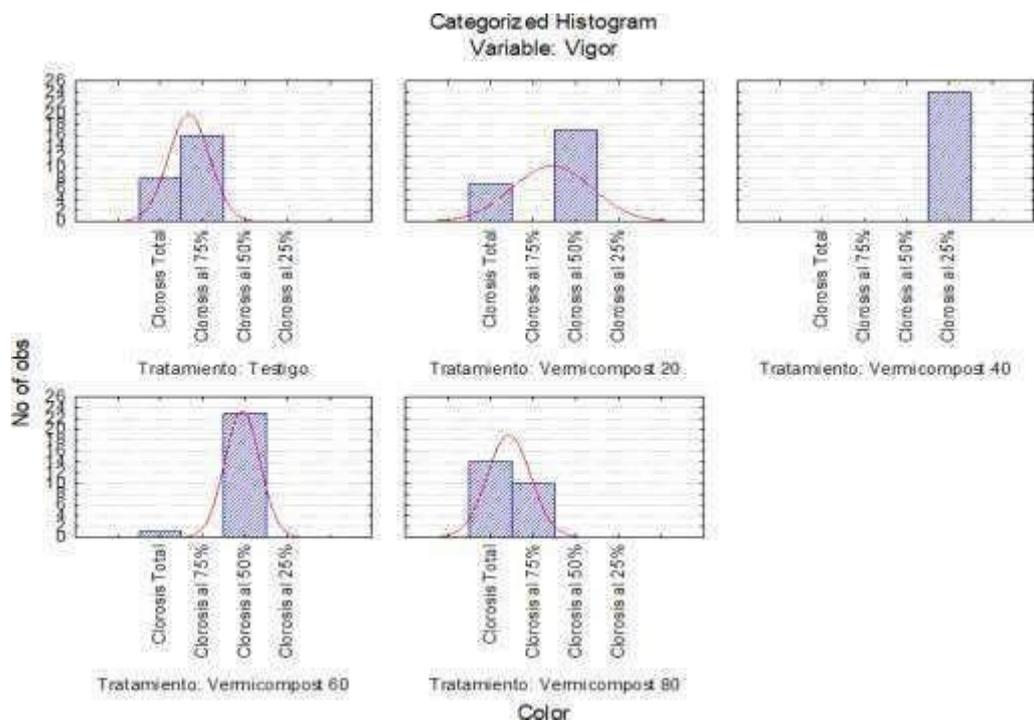
*Fuente: Elaboración propia*  
**Tabla 8. Valor y porcentaje de vigor**

Para el caso del vigor, se establecieron los siguientes datos: Todas las plantas del grupo de control presentaron un vigor regular, mientras que en el tratamiento 3, con vermicompost al 40%, todas las plantas mostraron un vigor muy bueno. El tratamiento con menor vigor fue el número 5, con vermicompost al 80%.



**Fuente:** *Elaboración propia*  
**Ilustración 11.** *Vigor de la planta*

En la última evaluación, el vigor en el grupo de control disminuye hasta alcanzar 0, es decir, sin vigor, al igual que en el tratamiento 5, con vermicompost al 80%. Mientras tanto, el tratamiento con vermicompost mantiene un buen vigor hasta el final del experimento.



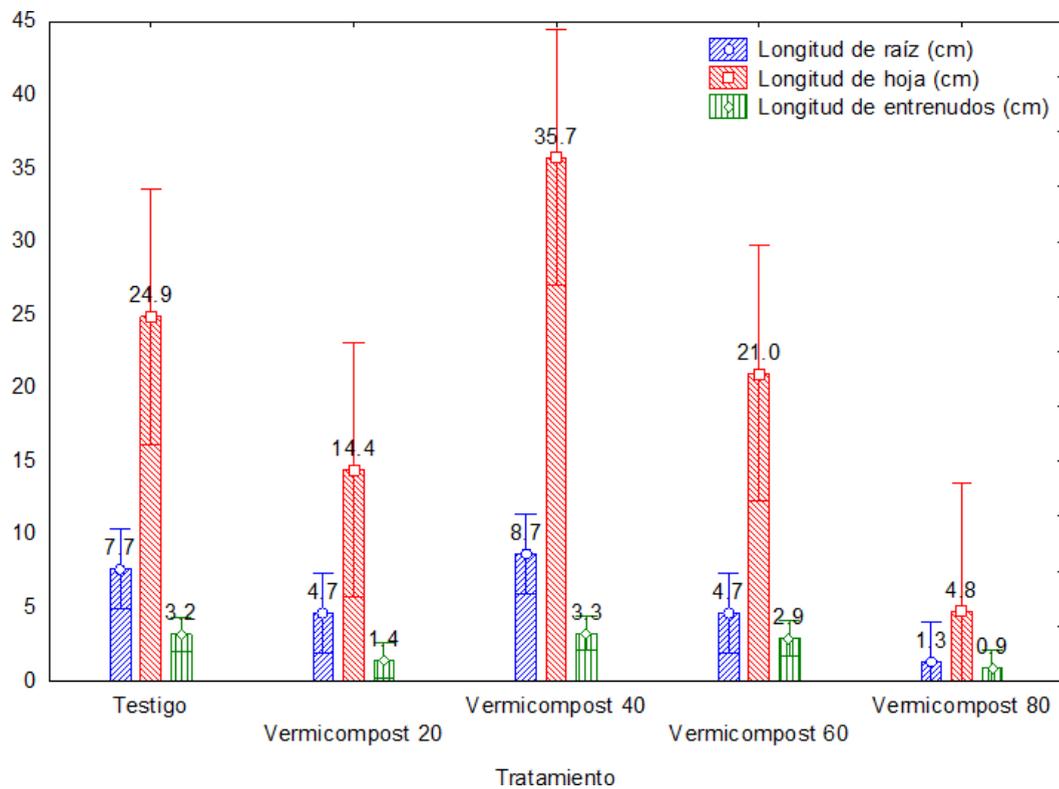
*Fuente: Elaboración propia*  
**Ilustración 12: Histograma de vigor**

En el gráfico de histogramas se observa que el tratamiento 3 con vermicompost al 40% es el mejor de todos los tratamientos.



**Fotografía 11. Vigor del cultivo**

#### 4.1.6. Longitud de raíz hoja y entrenudos.



*Fuente: Elaboración propia*

**Ilustración 13. Longitud de raíz, hoja y entrenudos**

En la evaluación de la biometría de las plantas, se observa que en los tres parámetros evaluados existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), siendo los que obtuvieron mejores resultados el grupo de control y el tratamiento 3, con vermicompost al 40%.

<b>Longitud de raíz (cm)</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>Intercept</b>	1	437.4	437.4	96.48529	0.000002
<b>Tratamiento</b>	4	100.2667	25.0667	5.52941	0.013001
<b>Error</b>	10	45.3333	4.5333		
<b>Total</b>	14	145.6			
<b>Longitud de hoja (cm)</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>Intercept</b>	1	6093.797	6093.797	133.1262	0
<b>Tratamiento</b>	4	1605.555	401.389	8.7688	0.002628
<b>Error</b>	10	457.746	45.775		
<b>Total</b>	14	2063.301			
<b>Longitud de entrenudos (cm)</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>Intercept</b>	1	81.74446	81.74446	97.09436	0.000002
<b>Tratamiento</b>	4	14.76007	3.69002	4.38293	0.026449
<b>Error</b>	10	8.41907	0.84191		
<b>Total</b>	14	23.17915			

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 9. Longitud de raíz, hojas y entrenudos**

Para la longitud de raíz el que desarrolló menos raíces fue el tratamiento 5 con vermicompost al 80%, los demás tratamientos formaron un grupo homogéneo.

**Duncan test; variable Longitud de raíz (cm) Homogenous Groups, alpha = .05000 Error: Between MS = 4.5333, df = 10.000**

	<b>Tratamiento</b>	<b>Longitud de raíz (cm)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>5</b>	Vermicompost 80	1.333333		****
<b>2</b>	Vermicompost 20	4.666667	****	****
<b>4</b>	Vermicompost 60	4.666667	****	****
<b>1</b>	Testigo	7.666667	****	
<b>3</b>	Vermicompost 40	8.666667	****	

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 10. Longitud de raíz**

Para la longitud de la hoja, se observó que las hojas más pequeñas se desarrollaron en el tratamiento 5, con vermicompost al 80%, y en el tratamiento 4, con vermicompost al 60%, mientras que las mejores longitudes de raíz se encontraron en el grupo de control y en el tratamiento 3, con vermicompost al 40%.

**Duncan test; variable Longitud de hoja (cm) Homogenous Groups, alpha = .05000 Error: Between MS = 45.775, df = 10.000**

	Tratamiento	Longitud de hoja (cm)	1	2	3
5	Vermicompost 80	4.77778		****	
2	Vermicompost 20	14.40000	****	****	
4	Vermicompost 60	21.00000	****		
1	Testigo	24.86750	****		****
3	Vermicompost 40	35.73333			****

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 11. Longitud de hojas**

Para la longitud de los entrenudos, se observó que los mejores tratamientos fueron el número 3, con vermicompost al 40%, el grupo de control y el tratamiento 4, con vermicompost al 60%. Mientras que en los tratamientos 2 y 5, con vermicompost al 20% y 80% respectivamente, se observaron las menores longitudes de los entrenudos.

Duncan test; variable Longitud de entrenudos (cm) Homogenous Groups, alpha = .05000  
 Error: Between MS = .84191, df = 10.000

	Tratamiento	Longitud de entrenudos (cm)	1	2	3
5	Vermicompost 80	0.888889		****	
2	Vermicompost 20	1.400000		****	****
4	Vermicompost 60	2.916667	****		****
1	Testigo	3.200000	****		
3	Vermicompost 40	3.266667	****		

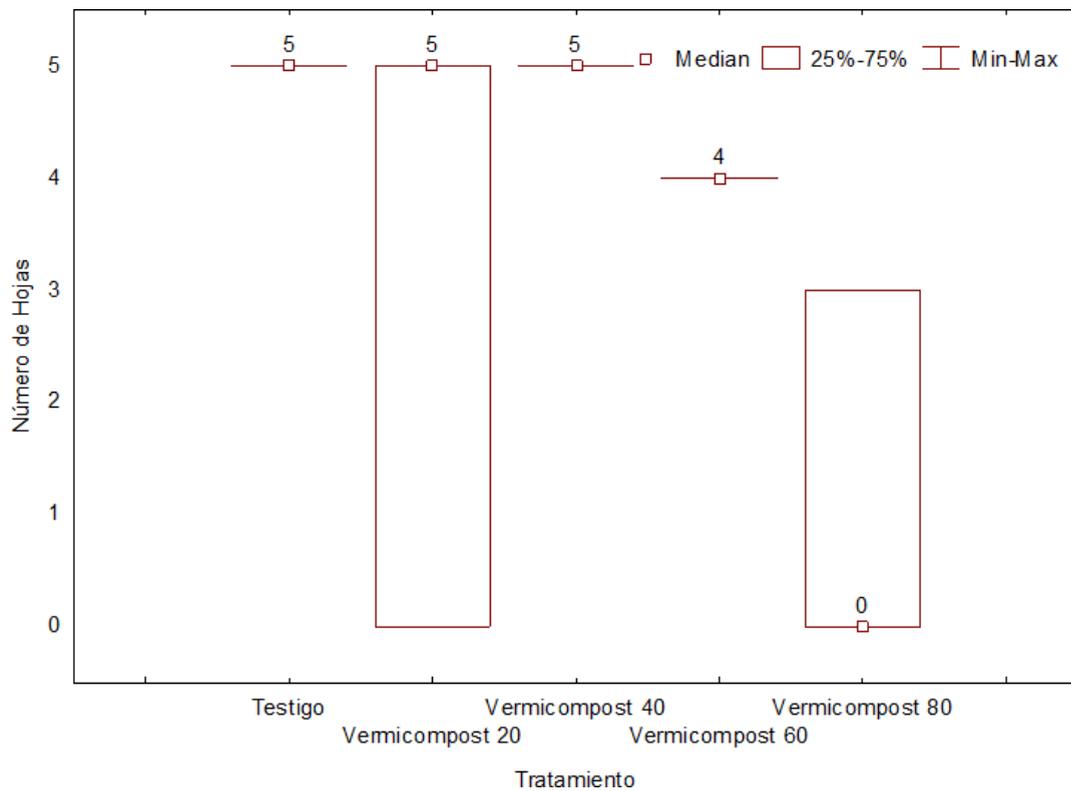
*Fuente:Elaboración propia.*

**Tabla 12. Longitud de entrenudos**



**Fotografía 12. Longitud de entrenudos**

#### 4.1.7. Número de hojas

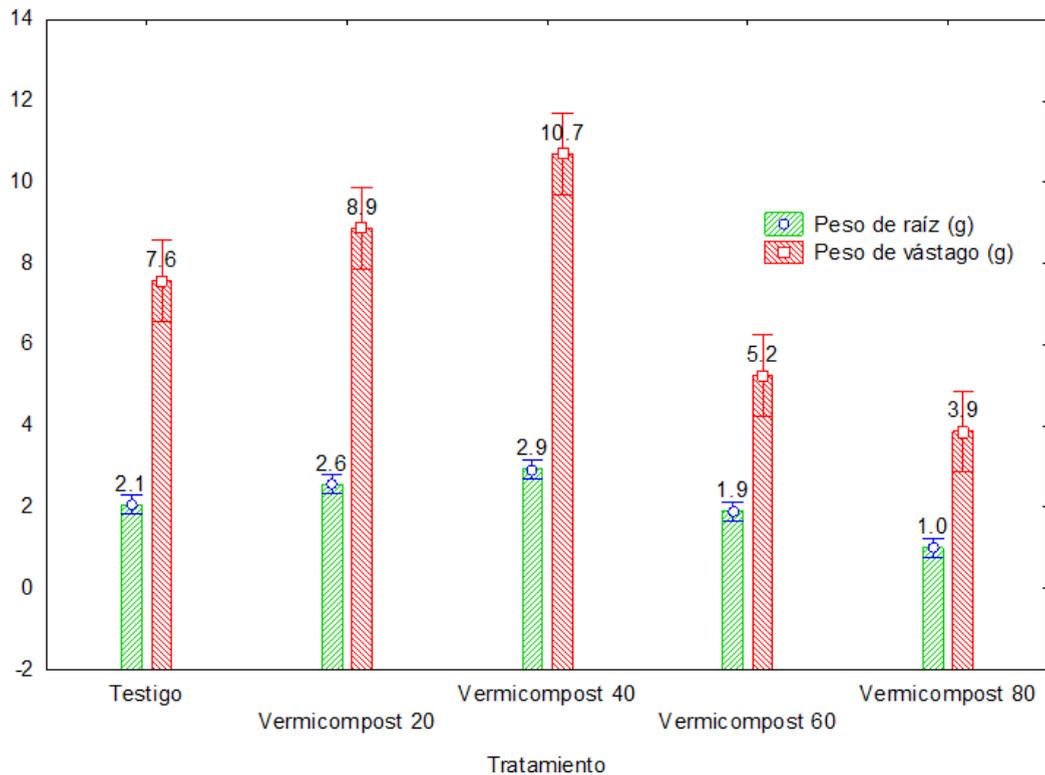


*Fuente: Elaboración propia.*

**Ilustración 14. Número de hojas**

Los tratamientos 2 y 3, con vermicompost al 20% y 40% respectivamente, así como el grupo de control, mostraron 5 hojas, mientras que el cuarto tratamiento, con vermicompost al 60%, presentó 4 hojas y el tratamiento 5, con vermicompost al 80%, tuvo una media de 0 hojas, debido a la mortalidad de las plantas.

#### 4.1.8. Peso de raíz y vástago



*Fuente: Elaboración propia.*

**Ilustración 15. Peso de raíz y vástago**

En contraste con lo observado en relación a las longitudes, que pueden variar según las hormonas, balance hídrico y otros factores, en el caso de la biomasa se evidencia un patrón en el que el tratamiento 2, con vermicompost al 20%, muestra una mayor biomasa en tallo y raíz que el grupo de control, así como el tratamiento 3, con vermicompost al 40%, es superior al grupo de control. Este resultado respalda la efectividad del tratamiento 3 con vermicompost al 40%, y también se logró observar que mientras aumenta la concentración de vermicompost, la biomasa disminuye. Esto se debe a la afectación de los fotosistemas y a la reducción de la fijación de carbono.

<b>Peso de raíz (g)</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>Intercept</b>	1	65.73067	65.73067	2054.08 3	0
<b>Tratamiento</b>	4	6.48933	1.62233	50.698	0.000001
<b>Error</b>	10	0.32	0.032		
<b>Total</b>	14	6.80933			
<b>Peso de vástago (g)</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>Intercept</b>	1	787.8576	787.8576	1305.53 8	0
<b>Tratamiento</b>	4	90.4598	22.6149	37.475	0.000005
<b>Error</b>	10	6.0347	0.6035		
<b>Total</b>	14	96.4945			

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 13. Peso de raíz y vástago**

**Duncan test; variable Peso de raíz (g) Homogenous Groups, alpha = .05000 Error:  
Between MS = .03200, df = 10.000**

	Tratamiento	Peso de raíz (g)	1	2	3	4
5	Vermicompost 80	1.000000		****		
4	Vermicompost 60	1.900000	****			
1	Testigo	2.066667	****			
2	Vermicompost 20	2.566667			****	
3	Vermicompost 40	2.933333				****

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 14. Prueba de Duncan del peso de raíz**

**Duncan test; variable Peso de vástago (g) Homogenous Groups, alpha = .05000 Error:  
Between MS = .60347, df = 10.000**

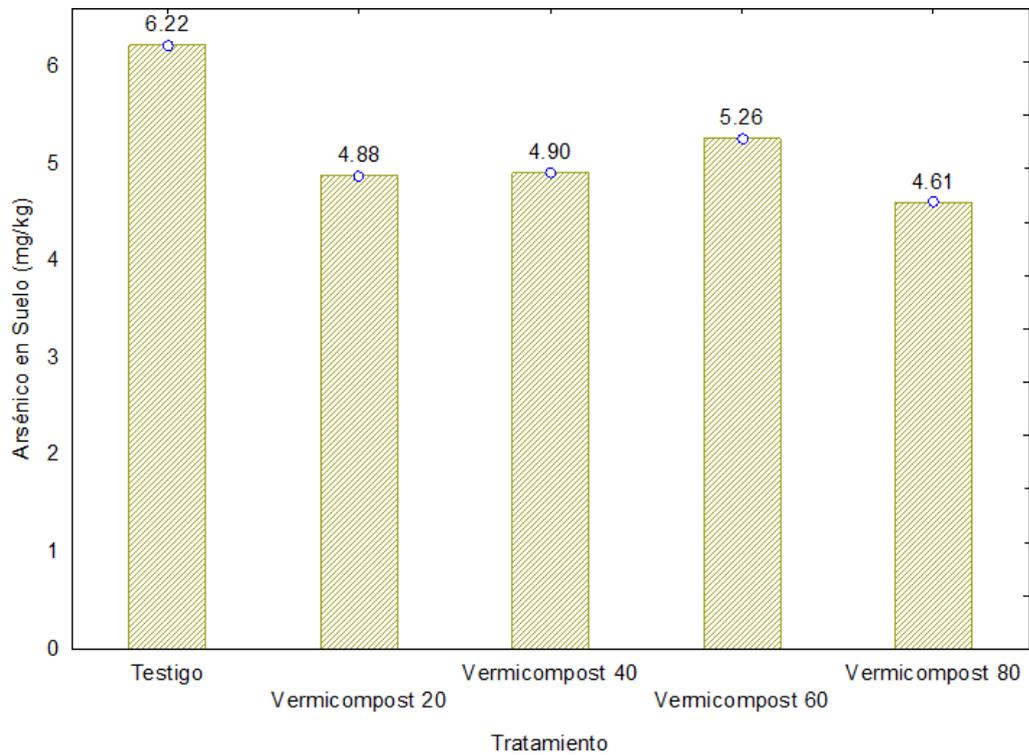
	Tratamiento	Peso de vástago (g)	1	2	3
5	Vermicompost 80	3.86667	****		
4	Vermicompost 60	5.23333	****		
1	Testigo	7.56667		****	
2	Vermicompost 20	8.86667		****	
3	Vermicompost 40	10.70333			****

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 15. Prueba de Duncan del peso de vástago**

En los análisis de Duncan se observa que el mejor desarrollo de raíz y de vástago en cuanto a la biomasa se dio en el tratamiento 3 con vermicompost al 40%

#### 4.1.9. Arsénico en el suelo



*Fuente: Elaboración propia.*

**Ilustración 16. Análisis de arsénico del suelo**

Se realizó el análisis de Arsénico en el suelo por cada tratamiento, donde se puede observar que con la aplicación de vermicompost la cantidad de arsénico disminuye esto debido a su bioacumulación por las plantas de maíz aplicadas.

## 4.2 Discusión de resultados.

El estudio realizado revela que la aplicación de vermicompost disminuye la disponibilidad de la concentración de arsénico en el cultivo de maíz (*Zea mays*) y proporciona un entorno más propicio para su desarrollo. Esto se debe a que la composición del vermicompost mejora las condiciones del suelo al proporcionar nutrientes adicionales, lo que favorece el crecimiento óptimo del cultivo.

Así mismo, Doorgha R, L wanga E, Somaroo G. indican que el vermicompost es la mejor opción para enriquecer suelos y mejorar cultivos, puesto que es alto en nutrientes como fósforo, potasio y nitrógeno, que las plantas pueden utilizar para crecer. Algunas lombrices de tierra más utilizadas para el vermicompost o vermicompostaje son *Eudrilus eugeniae*, *Eisenia fetida*, *Dendrobaena veneta*, *Perionyx excavatus* y *Eisenia andrei* [13].

A su vez recomiendan el vermicompostaje como una poderosa técnica de biorremediación para tratar metales pesados presentes en cultivos y tratar lodos de depuradora antes de su aplicación a suelos agrícolas, en comparación con el compostaje, la digestión anaeróbica y la incineración [13].

También, Esteves G, Dazio K, Bressanin L, Castro P, Veroneze V, Dos Reis J, Bortolotti A, Mantovani J, Magalhães P, Pasqual M, Corrêa T, señalan que el lombricompost o vermicompost es un aditivo orgánico con alta y muy buena capacidad de retención de agua, porosidad y disponibilidad de nutrientes. Este compost resulta de la interacción de las lombrices con microorganismos beneficiosos en descomposición de la materia orgánica mediante tecnología de lombricompostaje. Además, el vermicompost es excretado continuamente por las glándulas calcáreas de las lombrices, lo que lo hace más maduro y estable que otros materiales de abono. Los efectos positivos del vermicompost o vermicompostaje en la mejora del crecimiento de las plantas están relacionados con mecanismos físicos, químicos y biológicos. [17].

Por otro lado, en nuestra investigación se demostró que el uso excesivo y desmedido de vermicompost en el cultivo puede provocar estrés en la planta y llegar a ser tóxica para ella debido a la gran cantidad de sales y nutrientes con las que está compuesto el sustrato, es por ello, que en nuestro tratamiento con el 80% de vermicompost el cultivo no se llegó a desarrollar favorablemente, muy al contrario fue el que tuvo los peores resultados, con el número más bajo de hojas, poca germinación del cultivo y un pobre desarrollo de raíz.

De acuerdo con Paccini A, el compost tiene diversas características debido a su composición variada. En ocasiones, el manejo inadecuado del proceso de obtención y la alta concentración de sustancias potencialmente fitotóxicas comprometen su calidad y reducen las posibilidades de uso. [28].

Además, se observaron síntomas en las hojas, que podrían deberse a la toxicidad de las sales y los metales pesados cuando se encuentran en concentraciones elevadas. Se ha demostrado que el compost hecho a partir de la fracción orgánica de los RSU de Carhuaz utilizando la técnica de compostaje manual utilizada por la planta de tratamiento tiene un grado moderadamente fitotóxico. El autor señala que no se debe creer que el compostaje es bueno, ya que si está mal planteado e insuficientemente controlado, puede generar problemas significativos. Además, no se debe pensar que todos los compost presentan las mismas características y producen los mismos efectos cuando se utilizan [28].

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

1. El tratamiento óptimo, con el nivel más efectivo de vermicompost en el cultivo de maíz, fue el tratamiento 3, que consistía en un nivel del 40% de vermicompost. Este tratamiento logró reducir significativamente el contenido de arsénico en el suelo y, al mismo tiempo, permitió que el cultivo mantuviera y alcanzara un buen desarrollo. Esto se debe al impacto positivo que el vermicompost tiene tanto en la planta como en el suelo, proporcionando numerosos beneficios que favorecen el crecimiento del cultivo.
2. El nivel ideal de vermicompost para el cultivo de maíz (*Zea mays*) para la germinación y crecimiento en suelos con presencia de arsénico fue el tratamiento 3, con un nivel del 40%. Este tratamiento logró la germinación de la mayor cantidad de semillas en comparación con los otros tratamientos, alcanzando una altura máxima de 62.7 cm a los 112 días.
3. El nivel de vermicompost en el que el cultivo de maíz presenta características vegetativas favorables es en el tratamiento número 3. En este tratamiento, las hojas mostraron un color verde intenso, una altura adecuada de 62.7 cm, un mayor número de hojas, un buen grosor de tallo en comparación con los demás tratamientos, y un buen desarrollo tanto de raíces como de vástago.
4. Considerando que los 5 tratamientos al comienzo del experimento mostraron una concentración de 80 ppm de arsénico, pasado los 112 días encontramos que, el tratamiento 1 al 0% de vermicompost tuvo una reducción final a 6.22ppm, el tratamiento 2 al 20% de vermicompost tuvo una reducción final a 4.88ppm, el tratamiento 3 al 40% de vermicompost tuvo una reducción final a 4.90ppmm el tratamiento 4 al 60% de vermicompost tuvo una reducción final a 5.26ppm y por último el tratamiento 5 al 80% de vermicompost presentó un reducción final a 4.61, siendo este último el tratamiento que más redujo la concentración del contaminante pero que a su vez no permitió que el cultivo pueda desarrollarse.

## 5.2 Recomendaciones

1. Para futuras investigaciones se sugiere tener en cuenta que el cultivo de maíz se desarrolla mejor en un espacio al 40% de vermicompost, ya que, si la cantidad de este sustrato es mayor, la semilla no logrará su germinación total y tenderá a echarse a perder. Por otro lado, se sugiere realizar estudios sobre el efecto de vermicompost en diferentes cultivos, evaluando diferentes sustratos tales como: Fibra de coco, tierra de chacra, arcilla, limo para evaluar el comportamiento de la planta frente al arsénico,
2. Se recomienda para futuras investigaciones relacionadas a la fitorremediación de contaminación por metales pesados en cultivos, se realice el experimento en espacios que permitan el desarrollo óptimo del cultivo a sembrar, para no perjudicar su crecimiento.
3. Para futuros trabajos de investigación similares, se recomienda realizar análisis foliares a las plantas para conocer el factor de bioacumulación y translocación del metal en los órganos de las plantas (raíz, tallo, hojas).
4. Basándonos en los hallazgos de la investigación realizada, sugerimos que el tratamiento T3 (suelo contaminado con arsénico y vermicompost) pueda considerarse como una alternativa para la tecnología de remediación de sitios contaminados con arsénico. Esto se debe a que el tratamiento logró eliminar el metal del suelo contaminado con una eficiencia del 93.8%.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

1. **Pari, Deysi.** El río Tambo está contaminado de Arsénico y se propone limpiarlo con cáscara de granadilla y de lloque. *La /*. 2022.
2. **Del Puerto Rodriguez, Asela, Suarez Tamayo, Susana y Palacio Estrada, Daniel.** Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*. 1, 2014, Vol. 52, 3.
3. **Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito.** Problemática ambiental y la utilización de agroquímicos en la producción de la coca. Viena, Austria: s.n., 2010. Analítica.
4. **Rodriguez Eugenio, Natalia, Mclaughlin, Michael y Pennock, Daniel.** La contaminación del suelo: Una realidad oculta. Organización de la Unidad para la Alimentación y la Agricultura. 2019.
5. **Delgadillo Angelica, Gonzales Cesar, Prieto Francisco, Villagomez Jose, Acevedo Otilio.** Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. México. 2011. Vol 14, 2.
6. **Yáñez, C, Zambrano, J y Caicedo, M.** Guía de Producción de maíz para pequeños agricultores y agricultoras. INIAP. Ecuador, Quito : s.n., 2013. pág. 28, Programa de Maíz. (Guía No 96).
7. **Galvao, Luiz A.C y Corey, German.** ARSÉNICO. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. Metepec, México : s.n., 1987.
8. **Sujit, Adhikary.** Vermicompost, the story of organic gold: A review. 7, La India : s.n., 2012, Vol. 3.
9. **Rosas Castor, Jose Martín.** *ESTUDIO DE LA ACUMULACIÓN Y ESPECIACIÓN DE ARSÉNICO EN CULTIVOS DE*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN. Nuevo León: s.n., 2015. pág. 207.

10. **Rodriguez Orlando, Sanchez Aymara, Mendoza Betty, Rodriguez Zulime, Henriquez Manuel, Rodriguez Vianel y Guerra Elicel.** Capacidad de extracción de cationes mediante acetato de amonio, acetato de sodio y cloruro de amonio. Caracas Venezuela. 2011. ISSN: 03781844. Vol 36, núm 3. Pag 219-223.
11. **Muñoz O, Vélez D, Montoro R.** Optimization of the solubilization, extraction and determination of inorganic arsenic [As(III) + (As(V))] in seafood products by acid digestion, solvent extraction and hydride generation atomic absorption spectrometry. 1999. DOI: 10.1039/a809426h.
12. **Ivanova E, Van Mol, Adams Freddy.** Electrothermal atomic absorption spectrometric determination of cadmium and lead in blood using flow injection on-line sorption preconcentration in a knotted reactor. 2005. Vol 53. Pag 1041-1048.
13. **Ragoobur D, Huerta E, Devi G.** Reduction of microplastics in sewage sludge by vermicomposting. 2022. Vol 450. Part 3.
14. **Khan Towhid Osman.** Degradación del suelo, conservación y remediación. 2014. Nueva York, Londres. ISBN 978-94-007-7589-3.
15. **Esteves G, Rezende Dázio de Souza K, Leticia Aparecida Bressanin a, Paula Cristina Castro Andrade b, Valdir Veroneze Júnior a, Pedro Ernesto dos Reis a, Adriano Bortolotti da Silva b, José Ricardo Mantovani b, Paulo César Magalhães d, Moacir Pasqual c, Thiago Corrêa de Souza.** Vermicompost improves maize, millet and sorghum growth in iron mine tailings. 2020. Vol 264.
16. **Ferreira Andrade G, Pollo Paniz F, Cunha Martins Jr. , Alves Rocha b, Klynger da Silva Lobato A, Lisboa Rodrigues J, Poliana Cardoso-Gustavson a, Masuda H, Lemos Batista B.** Agricultural use of Samarco's spilled mud assessed by rice cultivation: A promising residue use. 2018. Vol 193. Pág 892-902
17. **Martinez M, Carreon Y.** Effect of mineral nutrients on the uptake of Cr(VI) by maize plants. 2015. Mexico. Vol 32.
18. **Camacho F, Uribe L, Masters K, Kinyua M.** Fitotoxicidad de compost producido con cultivos de microorganismos de montaña y lodos de biodigestor. 2019. Costa Rica. Vol 11. Num 2.

19. **Archana Singh, Natchimuthu Karmegam, Gopal Shankar Singh, Tunira Bhadauria, Soon Woong Chang, Mukesh Kumar Awasthi, Sivasubramaniam Sudhakar, Kantha Deivi Arunachalam, Muniyandi Biruntha & Balasubramani Ravindran.** Earthworms and vermicompost: an eco-friendly approach for repaying nature's debt. 2020. Pág 1617-1642.
20. **Bustamante Carrión, Manuel Enrique.** Efecto de la aplicación de estiércol de lombriz en la disponibilidad de arsénico y cromo, en Un cultivo de maíz del Distrito de Orcotuna, Concepción-2016. Junín: Universidad Continental, 2018. pág. 125, Proyectos de investigación.
21. **Ataucusi R, Bellido A.** FITOEXTRACCIÓN DE MERCURIO ASISTIDA CON HUMUS DE LOMBRIZ USANDO Artemisia absinthium EN UN SUELO CONTAMINADO DE HUANCVELICA. Lima, Peru. 2022.
22. **Rodriguez P.** Efecto del Humus de Lombriz en la remediación de suelos contaminados con crudo de petróleo. Ucayali, Perú. 2018.
23. **Cabana R.** COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS BIOADSORBENTES SEMILLA DE PALTA (*Persea americana*) Y MAZORCA DE MAÍZ (*Zea mays*) EN LA REMOCIÓN DEL ARSÉNICO (As) DE LAS AGUAS NATURALES DEL SUBSUELO DE LA ZONA DEL DISTRITO DE TORATA. Moquegua Perú. 2022
24. **Ministerio de Agricultura y Riego.** Plan Nacional de Cultivo 2019-2020. Perú. 2019.
25. **Janqui G, Janqui L.** Remoción de molibdeno con carbón activado de tusa de maíz (*Zea Mays*) en aguas del río Challhuahuacho –Cotabambas. 2021. Perú. Vol 5, Núm 1.
26. **Arenaza S.** Aplicación de Vermicompost para la remediación de suelos contaminados por metales pesados: Revisión Sistemática. Lima, Peru. 2021.
27. **Paccini A.** Determinación de la fitotoxicidad del compost de la planta de tratamiento de residuos sólidos municipales de Carhuaz, utilizando el cultivo de trigo como indicador, Carhuaz. Ancash. 2017
28. **Febres Flores S.** Remediación de suelos contaminados con plomo (Pb) mediante el empleo de Girasol (*Helianthus annuus*) y estiércol de lombriz roja (*Eisenia foetida*) en condiciones controladas. Arequipa, Peru. 2019

29. **Condori M.** Estudio de niveles de boro y arsénico en suelo agrícola en el distrito de Cocachacra. Valle de Tambo. Arequipa, Perú. 2016.
30. **Fernández M, Gallardo M, Chávez M.** *VALLE DE TAMBO-ISLAY: TERRITORIO, AGUA Y DERECHOS LOCALES EN RIESGO CON LA MINERÍA A TAJO ABIERTO.* 2011. Arequipa. Primera edición.
31. **Pathma, Yayakumar y Sakthivel, Natarajan.** Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential. s.l. : Springer Plus 1, 2012, Springer Plus.
32. **Parra, Salomón.** *Programa de Microbiología.* Universidad de los Andes.
33. **Del Águila Juárez, Pedro, Lugo de la Fuente, Jorge y Vaca Paulin, Rocio.** *El vermicompostaje como proceso de estabilización de residuos orgánicos y lodos de depuradora como aplicación al suelo.* 3, México : s.n., 2011, Agroecosistemas tropicales y subtropicales, Vol. 14.
34. **EDWARDS, CLIVE A. y FLETCHER, K.E.** *Interactions between Earthworms and Microorganisms in Organic-matter Breakdown.* Amsterdam : s.n., 1988, Agriculture, Ecosystems and Environment, Vol. 24, págs. 235-247
35. **Ortas, Lorenzo.** *El cultivo de maíz: Fisiología y aspectos generales.* 7, 2008, Comercial de Servicios Agrigan, S.A.
36. **Rosas Castor, Jose Martín.** *ESTUDIO DE LA ACUMULACIÓN Y ESPECIACIÓN DE ARSÉNICO EN CULTIVOS DE.* UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN. Nuevo León : s.n., 2015. pág. 207.
37. **Khanna, Kanika, y otros.** *Arsenic as hazardous pollutant: Perspectives on engineering remediation tools.* 2022, Science of The Total Environment, Vol. 838.
38. **Smedley, P. L., & Kinniburgh, D. G.** *A review of the source , behaviour and distribution of arsenic in natural waters,* Pergamon (2002)17, 517–568.
39. **Rosas Castor, J.M., y otros.** *Arsenic accumulation in maize crop (Zea mays): A review.* 2014, Science of The Total Environment, Vols. 488-489, págs. 176-187.

- 40. Saborío Morales, Lachiner y Hidalgo Murillo, Luis Fernando.** *Consumo de arsénico riesgo cardiovascular.* 1, Costa Rica : s.n., 2015, Medicina Legal de Costa Rica, Vol. 32.
- 41. Rojas, Marcelo.** *Manual de Investigación y Redacción Científica.* Primera Abril 2000, 2002.
- 42. STEEL, R.G. and TORRIE, J.H.** *Bioestadística. Principios y procedimientos.* Segunda edición. McGraw-Hill. Nueva York. 1985.

## ANEXOS



*Fotografía 13: Germinación del maíz*



*Fotografía 14: Preparación de disolución de arsénico*



*Fotografía 15: Aplicación de solución a la muestra de suelo*



*Fotografía 16: Siembra de semilla*



**Fotografía 17:** Muestras preliminares



**Fotografía 18:** Crecimiento de semillas en muestras preliminares



**Fotografía 19:** Aplicación de vermicompost al suelo agrícola

+



**Fotografía 20:** Aplicación de aserrín a la preparación del suelo agrícola.



**Fotografía 21:** Preparación de muestras de suelo



**Fotografía 22:** Preparación de muestras de suelo con aserrín, vermicompost y arena.



**Fotografía 23:** Pesaje de muestras



**Fotografía 24:** Abertura de orificios para filtrar el agua.



*Fotografía 25: Orificios para la coloración de la semilla*



*Fotografía 26: Muestras a los 2 días*



*Fotografía 27: Cultivo de maíz a los 90 días*



*Fotografía 28: Muestras a los 10 días*



*Fotografía 29: Nivel al 0% de vermicompost*



*Fotografía 30: Nivel al 20% de vermicompost*



*Fotografía 31: Nivel 40% de vermicompost*



*Fotografía 32: Nivel al 100% de vermicompost*



**Fotografía 33:** *Medición de raíz*



**Fotografía 34:** *Altura de la planta*



**Fotografía 35:** *Peso de raíz y vástago*



**Fotografía 36:** *Altura de planta, raíz, entre nudos*



**Fotografía 37:** *Altura de planta, raíz, entre nudos*



**Fotografía 38:** *Altura de planta, raíz, entre nudos*

## RESULTADOS DE LABORATORIO PARA MUESTRA DE SUELO AGRÍCOLA



**UNESA**  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN

Laboratorio de  
Investigación y Servicios  
LABINVSERV

### INFORME DE ENSAYOS

<b>N° DE REPORTE:</b>	23768-23
<b>CLIENTE:</b>	SARAI BEDREGAL ANCORI CLAUDIA GUILLEN CANO
<b>DIRECCIÓN:</b>	AREQUIPA.
<b>ENSAYO SOLICITADO:</b>	ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO
<b>PRODUCTO</b>	SUELO
<b>CANTIDAD DE MUESTRA</b>	01
<b>FECHA DE RECEPCION:</b>	Martes, 25 de abril de 2023
<b>CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES:</b>	BOLSA DE PLÁSTICO
<b>FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS:</b>	Martes , 02 de abril de 2023
<b>REFERENCIA</b>	MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
<b>PROCEDENCIA</b>	EL TORO - COCACHACRA.
<b>CÓDIGO DE MUESTRA</b>	30161

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.  
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV

Página 1 de 2

*Fotografía 2: Muestra de suelo EL TORO - COCACHACRA*



**UNSA**  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

Laboratorio de  
Investigación y Servicios  
LABINVSERV

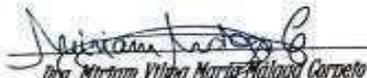
### INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°: 23768-23

ANÁLISIS DE:	UNIDAD	RESULTADOS	METODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Arsénico	ppm	89,87	Método de Dietilditiocarbamato de plata
<b>OBSERVACIONES:</b>			

Página 2 de 2

Emitido en Arequipa, el 02 de abril de 2023.

  
Dra. Miriam Vilba María Malayo Corzo  
Encargada del Laboratorio  
RCQP - 259



  
Lic. Quito. Fredy Agustín Valdivia Peña  
Químico Responsable  
RCQP - 842

Fotografía 39: Resultado de arsénico del suelo en el TORO - COCACHACRA

### INFORME DE ENSAYOS

<b>N° DE REPORTE:</b>	<b>24285-23</b>
<b>CLIENTE:</b>	SARAI BEDREGAL ANCORI CLAUDIA GUILLEN CANO.
<b>DIRECCIÓN:</b>	AREQUIPA
<b>ENSAYO SOLICITADO:</b>	ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO
<b>PRODUCTO</b>	SUELO
<b>CANTIDAD DE MUESTRA</b>	01
<b>FECHA DE RECEPCION:</b>	Lunes, 30 de octubre de 2023.
<b>CARACTERISTICAS Y CONDICIONES:</b>	BOLSA DE PLÁSTICO SELLADA
<b>FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS:</b>	Miércoles, 08 de noviembre de 2023.
<b>REFERENCIA</b>	MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
<b>PROCEDENCIA:</b>	<b>T<sub>1</sub> B<sub>A</sub> SUELO PREPARADO.</b>
<b>CÓDIGO DE MUESTRA</b>	30697

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA  
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV

Página 1 de 2

*Fotografía 40: Resultado de arsénico TIBA*

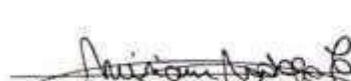
**INFORME DE ENSAYOS**

REPORTE N°: 24285-23

ANÁLISIS DE:	UNIDAD	RESULTADOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Arsénico	ppm	6,22	Método colorimétrico del dietilditocarbamato de plata.
<b>OBSERVACIONES:</b>			

Emitido en Arequipa, 08 de noviembre de 2023.

Página 2 de 2

  
Dra. Miriam Vilma María Meluja Espinoza  
Coordinadora del Laboratorio  
RCQP - 259  
Lic. Químico Freddy Agustín Valdivia Pardo  
Químico Responsable  
RCQP - 842**Fotografía 31: Resultado de arsénico TIBA**

**INFORME DE ENSAYOS**

**N° DE REPORTE:** 24286-23  
**CLIENTE:** SARAI BIEDREGAL ANCORI  
CLAUDIA GUILLEN CANO  
**DIRECCIÓN:** AREQUIPA  
**ENSAYO SOLICITADO:** ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO  
**PRODUCTO:** SUELO  
**CANTIDAD DE MUESTRA:** 01  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** Lunes, 30 de octubre de 2023.  
**CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES:** BOLSA DE PLÁSTICO SELLADA  
**FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS:** Miércoles, 08 de noviembre de 2023.  
**REFERENCIA:** MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE  
**PROCEDENCIA:** T<sub>1</sub> B<sub>1</sub> - SUELO PREPARADO.  
**CÓDIGO DE MUESTRA:** 30698

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.  
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV

Página 1 de 2

*Fotografía 42: Resultado de arsénico T2B2*

**INFORME DE ENSAYOS**

**REPORTE N°: 24286-23**

ANÁLISIS DE:	UNIDAD	RESULTADOS	METODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Arsénico	ppm	4,88	Método colorimétrico del dietildinocarbamato de plata
<b>OBSERVACIONES:</b>			

Emiso en Arequipa, 08 de noviembre de 2023

Página 2 de 2

  
 MSc. Miriam Vilma Morja Melgar Corzo  
 Coordinadora del Laboratorio  
 RQP - 259



  
 Lic. Químico Freddy Agustín Valderrama Peña  
 Químico Responsable  
 RQP - 892

**Fotografía 43: Resultado de arsénico T2B2**

**INFORME DE ENSAYOS**

**N° DE REPORTE:** 24287-23  
**CLIENTE:** SARAI BEDREGAL ANCORI  
CLAUDIA GUILLEN CANO  
**DIRECCIÓN:** AREQUIPA  
**ENSAYO SOLICITADO:** ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO  
**PRODUCTO:** SUELO  
**CANTIDAD DE MUESTRA:** 01  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** Lunes, 30 de octubre de 2023.  
**CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES:** BOLSA DE PLÁSTICO SELLADA  
**FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS:** Miércoles, 08 de noviembre de 2023.  
**REFERENCIA:** MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE  
**PROCEDENCIA:** T, B, SUELO PREPARADO.  
**CÓDIGO DE MUESTRA:** 30699

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.  
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV

Página 1 de 2

*Fotografía 44: Resultado de arsénico T3B3*

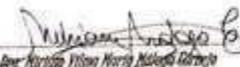
**INFORME DE ENSAYOS**

REPORTE N°: 24287-23

ANÁLISIS DE	UNIDAD	RESULTADOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Arsénico	ppm	4,90	Método colorimétrico del ditilzincato de plata
<b>OBSERVACIONES:</b>			

Empleado en Arequipa, 08 de noviembre de 2023.

Página 2 de 2

 Dra. Patricia Vilma Nery Molega Gómez Coordinadora del Laboratorio KSP - 750		 Lic. Dany Freddy Aguilar Nolasco Puga Químico Responsable KSP - 692	
---	--	--	--

**Fotografía 45: Resultado de arsénico T3B3**

### INFORME DE ENSAYOS

**N° DE REPORTE:** 24288-23  
**CLIENTE:** SARAI BEDREGAL ANCORI  
CLAUDIA GUILLEN CANO  
**DIRECCIÓN:** AREQUIPA  
**ENSAYO SOLICITADO:** ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO  
**PRODUCTO** SUELO  
**CANTIDAD DE MUESTRA** 01  
**FECHA DE RECEPCION:** Lunes, 30 de octubre de 2023.  
**CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES:** BOLSA DE PLÁSTICO SELLADA  
**FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS:** Miércoles, 08 de noviembre de 2023.  
**REFERENCIA** MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE  
**PROCEDENCIA:** T, B, SUELO PREPARADO.  
**CÓDIGO DE MUESTRA** 30700

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.  
ESTE FORMATO NO SERÁ RÉPRÓDUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV

Página 1 de 2

*Fotografía 46: Resultado de arsénico T4B1*

**INFORME DE ENSAYOS**

REPORTE N°: 24288-23

ANALIZANTE	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Arsénico	ppm	5,26	Método colorimétrico del dihidróxicarbamatato de plata
<b>OBSERVACIONES:</b>			

Emisado en Arequipa, 08 de noviembre de 2023.

Página 1 de 1

  
 Lic. Miriam Vilma María Nolasco Gallego  
 Coordinadora del Laboratorio  
 RCP - 259



  
 Lic. Químico Freddy Aguirre Valdivia  
 Químico Responsable  
 RCP - 042

**Fotografía 47: Resultado de arsénico T4B1**

**INFORME DE ENSAYOS**

<b>N° DE REPORTE:</b>	<b>24289-23</b>
<b>CLIENTE:</b>	SARAI BEDREGAL ANCORI CLAUDIA GUILLEN CANO
<b>DIRECCIÓN:</b>	ARIQUIPA
<b>ENSAYO SOLICITADO:</b>	ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO
<b>PRODUCTO</b>	SUELO
<b>CANTIDAD DE MUESTRA</b>	01
<b>FECHA DE RECEPCION:</b>	Lunes, 30 de octubre de 2023.
<b>CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES:</b>	BOLSA DE PLÁSTICO SELLADA
<b>FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS:</b>	Miércoles, 08 de noviembre de 2023.
<b>REFERENCIA</b>	MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
<b>PROCEDENCIA:</b>	<b>T. B. SUELO PREPARADO.</b>
<b>CÓDIGO DE MUESTRA</b>	30701

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.  
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINYSERV

Página 1 de 2

*Fotografía 48: Resultado de arsénico T5B2*

**INFORME DE ENSAYOS**
**REPORTE N°: 24289-23**

ANÁLISIS DE	UNIDAD	RESULTADO	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO, NORMA DE REFERENCIA/NOMBRE
Arsénico	ppm	4.61	Método colorimétrico del dietilnitrosulfato de plata
<b>OBSERVACIONES:</b>			

Emisado en Arequipa, 08 de noviembre de 2023.

Página 2 de 2

 Ana Patricia Villanueva Gerente General del Laboratorio RCP - 159		 Lito Pedro Aguado Químico Responsable RCP - 092
---	--	--

**Fotografía 49: Resultado de arsénico T5B2**

### MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DISEÑO METODOLÓGICO	MUESTRA
<b>Problema general</b>	<b>Objetivo general</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>Independientes</b>	Método de investigación: Método cuantitativo	Registro de análisis
¿Qué nivel en el tratamiento con vermicompost es más eficiente en la fitorremediación de suelos contaminados con arsénico?	Determinar el nivel de vermicompost más eficiente en la fitorremediación en suelos contaminados con arsénico, Arequipa.	El tratamiento 2 y 3 al 20% y 40% respectivamente de vermicompost es el nivel más eficiente en la fitorremediación en suelos contaminados con arsénico, Arequipa.	Vermicompost		
<b>Problemas Específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Hipótesis Específicas</b>	<b>Dependientes</b>	Tipo de investigación: Experimental o método de comprobación	
¿Cuál es el nivel ideal de vermicompost en el cultivo de maíz (Zea mays) para la germinación y crecimiento en un suelo contaminado con arsénico?	Determinar el nivel ideal de vermicompost en el cultivo de maíz (Zea mays) para la germinación y crecimiento en un suelo con arsénico, Arequipa.	H1. El tratamiento 3 al 40% de vermicompost es el nivel óptimo para la germinación, crecimiento y desarrollo en un suelo con arsénico, Arequipa.	Germinación de la planta	Alcance de investigación: Descriptivo - correlacional	
			Altura de la planta		
			Grosor del tallo		
¿En qué nivel de vermicompost el maíz presenta favorables características vegetativas entre los diferentes tratamientos al 0%, 20%, 40%, 60% y 80%, en suelos contaminados con arsénico?	Determinar en qué nivel de vermicompost el maíz presenta favorables características vegetativas entre los diferentes tratamientos al 0%, 20%, 40%, 60% y 80%, en suelos contaminados con arsénico, Arequipa.	H2. El tratamiento 3 al 40% de vermicompost en el cultivo de maíz (Zea mays) presenta características vegetativas óptimas entre los diferentes tratamientos aplicados.	Clorosis	Diseño de investigación: Experimental	
			Vigor de la planta		
			Longitud de raíz, hoja y entrenudos	Población: El suelo contaminado con arsénico en Arequipa	
¿Cuál es la disponibilidad de arsénico en el suelo entre los tratamientos con vermicompost al inicio y fin del experimento?	Comparar la disponibilidad de arsénico en el suelo entre los tratamientos con vermicompost al inicio y fin del experimento, Arequipa.	H3. Entre mayor nivel de vermicompost aplicado en el cultivo de maíz (Zea mays) se obtuvo una menor disponibilidad de arsénico al finalizar el experimento entre los diferentes tratamientos.	Número de hojas		
			Relación entre peso		
			Disponibilidad de arsénico		

**Tabla 16. Matriz de consistencia**

### MATRIZ DE VARIABLES

Tipo de Variable		Dimensiones	Definición conceptual	Indicador	Unidad de Medida	Tipo de Variable	Escala de Medición
Variable Independiente	Vermicompost	Vermicompost	Es el uso del producto resultado de la excreción de las lombrices rojas californianas luego de su ingesta de estiércol de bovino.	Kilogramos de vermicompost por área.	kg ó gr	Cuantitativa continua	Razón / proporción
Variable Dependiente	Maíz	Porcentaje de Germinación de la planta	Es el proceso gradual mediante el cual el embrión se hincha, la cáscara de la semilla se rompe y brota la planta del suelo.	Porcentaje de germinación de la planta de maíz ( <i>Zea mays</i> )	Días después de la siembra	Cuantitativa continua	Razón / proporción
		Altura de la planta	Es el desarrollo de la planta de maíz para alcanzar la altura deseada para nuestro estudio y según eso evaluar la eficacia del vermicompost como técnica remediadora.	Altura de planta según niveles de vermicompost.	cm	Cuantitativa continua	Razón / proporción
		Disponibilidad de arsénico en el suelo	Cantidad de arsénico presente en el área cultivada antes y después del experimento.	Cantidad de arsénico en el suelo, al inicio y final del experimento.	mg/kg	Cuantitativa continua	Razón / proporción
		Grosor del tallo	Desarrollo del tallo de la planta para un buen soporte de las ramas y hojas.	Grosor del tallo pasados los 112 días.	cm	Cuantitativa continua	Razón / proporción
		Clorosis	Baja producción de clorofila por parte del follaje, las hojas no tienen su coloración normal, llegan a tener un color amarillento.	Nivel de clorosis en las hojas de los diferentes tratamientos.	Visual / valoración	Cuantitativa continua	Razón / proporción
		Vigor de la planta	Potencial que tiene la semilla para germinar y emerger adecuadamente.	Vigor de la planta pasados los 112 días.	Visual / valoración	Cuantitativa continua	Razón / proporción
		Longitud de raíz, hojas y entrenudos	Largo de raíz, hojas y entrenudos.	Medida de la raíz, hojas y el desarrollo de entrenudos pasados los 112 días del experimento.	cm	Cuantitativa continua	Razón / proporción

**Tabla 17. Matriz de variable**