

**UNIVERSIDAD DE HUANUCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL**



**TESIS**

---

**“RECUPERACIÓN DE SUELO CONTAMINADO POR PLOMO CON  
VETIVERIA (*Chrysopogon zizanioides*) BAJO CONDICIONES DE  
VIVERO EN LA ESPERANZA – AMARILIS – HUÁNUCO, ABRIL –  
JUNIO 2019”**

---

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
AMBIENTAL**

**AUTOR: Davila Ruiz, Roger Miguel**

**ASESOR: Salas Vizcarra, Cristian Joel**

**HUÁNUCO – PERÚ**

**2020**

# U

**TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:**

- Tesis ( X )
- Trabajo de Suficiencia Profesional ( )
- Trabajo de Investigación ( )
- Trabajo Académico ( )

**LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:** Modelación, análisis y control de la contaminación ambiental  
**AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN** (2018-2019)

**CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:**

**Área:** Ingeniería, Tecnología

**Sub área:** Ingeniería ambiental

**Disciplina:** Ingeniería ambiental y geológica

# D

**DATOS DEL PROGRAMA:**

Nombre del Grado/Título a recibir: Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio ( X )
- UDH ( )
- Fondos Concursables ( )

**DATOS DEL AUTOR:**

Documento Nacional de Identidad (DNI): 45376443

**DATOS DEL ASESOR:**

Documento Nacional de Identidad (DNI): 41135525

Grado/Título: Magister en derecho y ciencias políticas  
 derecho procesal

Código ORCID: 0000-0003-4745-4889

# H

**DATOS DE LOS JURADOS:**

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Calixto Vargas, Simeón Edmundo	Maestro en administración de la educación	22471306	0000-0002-5114-4114
2	Riveros Agüero, Elmer	Maestro en Administración y Gerencia en salud	28298517	0000-0003-3729-5423
3	Calvo Trujillo, Heberto	Ingeniero Agrónomo	22464839	0000-0003-2475-1362

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO  
PROFESIONAL DE INGENIERO (A) AMBIENTAL**

En la ciudad de Huánuco, siendo las 15:35 horas del día 10 del mes de marzo del año 2020, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

Mg. Simeón Edmundo Calixto Vargas (Presidente)  
Mg. Elmer Riveros Agüero (Secretario)  
Ing. Heberto Calvo Trujillo (Vocal)

Nombrados mediante la Resolución N° 172-2020-O-FI-UOH para evaluar la **Tesis** intitulada:

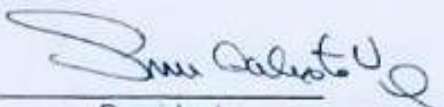
RECUPERACIÓN DE SUELO CONTAMINADO POR PLOMO CON VETIVERIA (Chrysopsisgon zizanioides) BAJO CONDICIONES DE VIVERO EN LA ESPERANZA - AMARILIS - HUÁNUCO, ABRIL - JUNIO 2019

presentada por el (la) Bachiller Roger Miguel DÁVILA RUIZ para optar el Título Profesional de Ingeniero (a) Ambiental

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas; procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo (a) aprobado por unanimidad con el calificativo cuantitativo de 15 y cualitativo de bueno (Art. 47)

Siendo las 16:30 horas del día 10 del mes de marzo del año 2020, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

  
Presidente

  
Secretario

  
Vocal

## **DEDICATORIA**

A Dios Todopoderoso por su ayuda incondicional en todo momento, brindándome la estabilidad emocional y espiritual para la consecución de mis objetivos planteados

A mis padres que fueron y son los personajes mas importantes en mi vida, por su apoyo en la culminación de mi carrera profesional.

A mi esposa e hija por ser el motor que impulsa mi vida en el logro de metas y la felicidad que me brindan día a día.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi alma mater, la Universidad de Huánuco, por acogerme y conducirme mediante el excelente servicio educativo en mi formación profesional recibida.

A los docentes de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Ambiental, por impartir sus conocimientos y experiencias durante los semestres académicos

A mi asesor el Ing. Cristian Salas Vizcarra por el asesoramiento brindado desde la redacción del proyecto hasta la culminación del mismo.

A mis amigos de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Ambiental por su compañerismo durante el tiempo de permanencia en la Universidad de Huánuco.

# ÍNDICE

DEDICATORIA .....	II
AGRADECIMIENTO .....	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN .....	X
ABSTRACT.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XII
CAPÍTULO I.....	13
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	13
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2.1. Problema general.....	14
1.2.2. Problemas específicos.....	14
1.3. OBJETIVO GENERAL.....	15
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
CAPÍTULO II.....	18
MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
2.1.1. Estudios internacionales.....	18
2.1.2. Estudios nacionales.....	19
2.1.3. Estudios locales.....	20

2.2. BASES TEÓRICAS .....	20
2.2.1. Contaminación de suelo por plomo.....	20
2.2.2. La vetiveria.....	23
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	25
2.4. HIPÓTESIS .....	26
2.4.1. Hipótesis general .....	26
2.4.2. Hipótesis específicas .....	26
2.5. VARIABLES .....	28
2.5.1. Variable dependiente .....	28
2.5.2. Variable independiente .....	28
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES (dimensiones e indicadores) .....	29
CAPÍTULO III.....	30
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	30
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	30
3.1.1. Enfoque.....	30
3.1.2. Alcance o nivel.....	30
3.1.3. Diseño.....	30
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	30
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	31
3.3.1. Técnicas de campo .....	31
3.3.2. Instrumentos mecánicos .....	32
3.3.3. Datos registrados.....	32
3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	33
CAPÍTULO IV.....	35
RESULTADOS.....	35
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	35

4.1.1. Recuperación de suelo contaminado por plomo .....	35
4.1.2. Biomasa área de vetiveria.....	38
4.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....	44
4.2.1. Recuperación de suelo contaminado por plomo .....	44
4.2.2. Biomasa aérea.....	45
CAPÍTULO V.....	53
DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	53
5.1. Contrastación de los resultados del trabajo de investigación .....	53
CONCLUSIONES .....	55
RECOMENDACIONES.....	56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
ANEXOS.....	61



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de suelos contaminados .....	21
Tabla 2. Operacionalización de variables .....	29
Tabla 3. Tratamientos en estudio.....	34
Tabla 4. Concentración inicial, final y residual de plomo en el suelo contaminado por tratamientos.....	35
Tabla 5. Estadísticos descriptivos para concentración residual de plomo en los tratamientos.....	36
Tabla 6. Estadísticos descriptivos para número de macollos por planta.....	38
Tabla 7. Estadísticos descriptivos para número de hojas por planta .....	40
Tabla 8. Estadísticos descriptivos para longitud de macollos por planta .....	41
Tabla 9. Estadísticos descriptivos para longitud de macollos por planta .....	43
Tabla 10. Prueba de Kruskall Wallis para concentración residual de plomo del suelo contaminado .....	44
Tabla 11. Prueba de Fischer o análisis de un solo factor para número de macollos por planta en el mes de septiembre.....	45
Tabla 12. Prueba de Fischer o análisis de un solo factor para número de macollos por planta en el mes de octubre.....	46
Tabla 13. Prueba de comparación de Tukey para número de macollos por planta en el mes de septiembre .....	46
Tabla 14. Prueba de Fischer o análisis de un solo factor para número de hojas por planta en el mes de septiembre. ....	47
Tabla 15. Prueba de Fischer o análisis de un solo factor para número de macollos por planta en el mes de octubre.....	48
Tabla 16. Prueba de comparación de Tukey para número de macollos por planta en el mes de septiembre .....	48
Tabla 17. Prueba de Fischer o análisis de un solo factor para longitud de macollos por planta en el mes de septiembre.....	49
Tabla 18. Prueba de Fischer o análisis de un solo factor para longitud de macollos por planta en el mes de octubre.....	50
Tabla 19. Prueba de Fischer o análisis de un solo factor para longitud de hojas por planta en el mes de septiembre. ....	51

Tabla 20. Prueba de Fischer o análisis de un solo factor para longitud de hojas por planta en el mes de octubre .....	51
Tabla 21. Prueba de comparación de Tukey para número de macollos por planta en el mes de septiembre .....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Concentración inicial, final y residual de plomo del suelo contaminado. ....	35
Figura 3. Promedios de los tratamientos respecto a la concentración residual de plomo.....	37
Figura 4. Diagrama de cajas para concentración residual de plomo. ....	37
Figura 5. Comportamiento del número de macollos por planta en los meses de septiembre y octubre.....	39
Figura 6. Comportamiento del número de hojas por planta en los meses de septiembre y octubre .....	40
Figura 7. Comportamiento del número de macollos por planta en los meses de septiembre y octubre.....	42
Figura 8. Comportamiento de la longitud de hojas por planta en los meses de septiembre y octubre.....	43

## RESUMEN

La contaminación del suelo por metales pesados como el plomo producido por las actividades humanas, es un problema de acontecimiento de carácter mundial, en el cual se ha recurrido a diversas acciones que permitan la recuperación del suelo, siendo este el escenario, la investigación tuvo como objetivo determinar la recuperación de suelos contaminados por plomo con vetiveria en condiciones de vivero en La Esperanza. El ensayo se instaló bajo un diseño experimental con tres tratamientos: T1: 6 estacas, T2: 8 estacas y T3: 12 estacas de vetiveria con cinco repeticiones, haciendo un total de 15 unidades experimentales. Las variables evaluadas fueron: concentración residual de plomo, número y longitud de macollos y hojas de vetiveria. Los resultados indican que la densidad de plantas de vetiveria no fue determinante estadísticamente en la concentración residual de plomo, que por los análisis del suelo contaminado indican un incremento del plomo; la biomasa aérea de vetiveria comprendido por el número y la longitud de macollos y hojas por planta se vieron afectadas al inicio del ensayo, sin embargo, mostraron la capacidad para sobrevivir a pesar de las condiciones desfavorables del suelo. Por lo que se recomienda efectuar nuevamente el estudio considerando el análisis de materia orgánica y pH del suelo o sustrato de las macetas, con la finalidad de garantizar la movilidad del plomo en la solución del suelo y comprobar la absorción de plomo por las plantas de vetiveria.

**Palabras clave:** plomo, concentración, suelo, contaminación, vetiveria.

## ABSTRACT

The contamination of the soil by heavy metals such as lead produced by human activities, is a worldwide event problem, in which various actions have been used to allow soil recovery, this being the scenario, the investigation was Aim to determine the recovery of lead-contaminated soils with old-age nursery conditions in La Esperanza. The trial was installed under an experimental design with three treatments: T1: 6 stakes, T2: 8 stakes and T3: 12 stakes of vetiveria with five repetitions, making a total of 15 experimental units. The variables evaluated were: residual concentration of lead, number and length of tillers and old leaves. The results indicate that the density of plants of vetiveria was not statistically determinant in the residual concentration of lead, that by the analyzes of the contaminated soil indicate an increase of the lead; the aerial biomass of vetiveria comprised by the number and length of tillers and leaves per plant were affected at the beginning of the trial, however, they showed the ability to survive despite the unfavorable soil conditions. Therefore, it is recommended to carry out the study again considering the analysis of organic matter and pH of the soil or substrate of the pots, in order to guarantee the mobility of lead in the soil solution and check the absorption of lead by the plants of vetiveria.

Keywords: lead, concentration, soil, pollution, vetiveria.

# INTRODUCCIÓN

La conservación del suelo es un tema actual en el panorama mundial, de cara al cambio climático, el cual surge en respuesta a la degradación que sufre por causa de las actividades humanas como la agricultura, minería e industria, quienes acumulan sus desechos en el suelo, que a lo largo del tiempo logran concentrarse en cantidades crecientes de elementos químicos (metales pesados), muchos de ellos perjudiciales para el planeta.

Ante esta problemática, la fitorremediación a base de plantas con capacidad de absorción y acumulación de metales pesados, ha desempeñado una alternativa para la recuperación y posterior conservación del suelo. En la actualidad se conoce a 37 plantas con esas cualidades, del que destaca la vetiveria. Esta planta es una especie originaria de la India y África, el cual recientemente ha sido utilizada para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados obteniendo resultados satisfactorios

El presente trabajo de investigación comprende de cinco capítulos, los cuales se mencionan a continuación:

Capítulo I: considera el problema de la investigación, descripción del problema, la formulación, el objetivo general y específicos, justificación, limitaciones y la viabilidad del estudio.

Capítulo II: enmarca el marco teórico, donde se considera los antecedentes (internacionales, nacionales y locales), las bases teóricas, definiciones conceptuales, las hipótesis, las variables y la operacionalización de variables

Capítulo III: respecto a la metodología de la investigación, en el que se fundamenta en el tipo de investigación (enfoque, alcance y diseño), las técnicas e instrumentos de recolección de datos y técnicas para el procesamiento y análisis de la información.

Capítulo IV: referido a los resultados, donde se trata el procesamiento de resultados y el contraste de la hipótesis.

Capítulo V: se basa en la discusión de los resultados, en el que se presenta la contrastación de los resultados del trabajo de Investigación

# CAPÍTULO I

## PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El suelo es un recurso primordial para la vida, debido a que en él se realizan actividades antrópicas como la agricultura, la ganadería, la minería, la construcción y actividades recreativas entre otros (Silva y Correa, 2009), los cuales han ocasionado que el suelo retenga contaminantes (Díaz, 2016), siendo la agrícola y minera, quienes aportan plomo al suelo (Galán y Romero, 2008). Por lo tanto, el suelo es considerado como un recurso susceptible de contaminarse (Díaz, 2016).

El plomo, en condiciones naturales, se encuentra en todos los suelos a nivel mundial, generalmente en cantidades entre 15 a 40 ppm (Bellido, 2018), sin embargo, en los últimos años, la concentración de plomo en el suelo se ha incrementado a niveles superiores a 10 g/Pb/Kg (Rubio et al, 2004), debido a las actividades como la fundición, la minería, la fabricación de pinturas, la combustión de gasolina entre otros (Cala y Kunimine, 2003).

La contaminación del suelo por metales pesados es un atributo significativo antiguamente (Chávez, 2014), siendo un asunto simbólico y constante de contaminación en La Oroya, donde se realizaron actividades de fundición de plomo, el cual fue emanado al aire, precipitado y almacenado en el suelo donde facilitó la intrusión a la cadena alimenticia y polución (Cedersta y Barandiarán, 2002).

Frente a este escenario, se han efectuado diversas investigaciones, para contrarrestar los efectos de estas actividades mediante el uso de plantas fitoremediadoras (Rotkittikhun *et al*, 2006; Chávez, 2014) identificándose aproximadamente 400 especies de plantas con la capacidad de remediar los suelos y aguas (Iqbal et al., 2008), estas plantas han adaptado para crecer y desarrollarse en suelos contaminados, al restringir la absorción y acumulación en su biomasa aérea (Jara *et al.*, 2014). Una de las especies tolerantes que

ha sido ampliamente utilizada para la extracción de metales pesados en el suelo, es la vetiveria (*Chrysopogon zizanooides*) (Vargas *et al.*, 2013; Arce *et al.*, 2016) el cual muestra tolerancia muy alta al acumular mayor cantidad de plomo en las raíces que en los brotes (Rotkittikhun *et al.*, 2006).

Bajo este argumento, la recuperación de los suelos contaminado por plomo requiere de suma atención, ya que, en Huánuco, existen minas que incumplen las medidas de seguridad ambiental, el cual a un largo plazo los problemas de contaminación de suelos y aguas será evidente en la población aledaña.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cómo es la recuperación de suelos contaminados por plomo con vetiveria (*Chrysopogon zizanooides*) en condiciones de vivero en La Esperanza – Amarilis – Huánuco, 2019?

### **1.2.2. Problemas específicos**

¿Cuál es la densidad de plantas de vetiveria que tiene influencia en la recuperación del suelo contaminado por plomo?

¿Cuál es la densidad de plantas de vetiveria en el número de macollos por planta que tiene influencia en la recuperación de suelos contaminados por plomo?

¿Cuál es la densidad de plantas de vetiveria en el número de hojas por planta que tiene influencia en la recuperación de suelos contaminados por plomo?

- ¿Cuál es la densidad de plantas de vetiveria en la longitud de macollos por planta que tiene influencia en la recuperación de suelos contaminados por plomo?



- ¿Cuál es la densidad de plantas de vetiveria en la longitud de hojas por planta que tiene influencia en la recuperación de suelos contaminados por plomo?

### **1.3. OBJETIVO GENERAL**

Determinar la recuperación de suelos contaminados por plomo con vetiveria (*Chrysopogon zizanooides*) en condiciones de vivero en La Esperanza – Amarilis – Huánuco, 2019.

### **1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Determinar la densidad de plantas de vetiveria que tiene influencia en la recuperación del suelo contaminado por plomo.

Establecer la densidad de plantas de vetiveria en el número de macollos por planta que tiene influencia en la recuperación de suelos contaminados por plomo

Determinar la densidad de plantas de vetiveria en el número de hojas por planta que tiene influencia en la recuperación de suelos contaminados por plomo

Establecer la densidad de plantas de vetiveria en la longitud de macollos por planta que tiene influencia en la recuperación de suelos contaminados por plomo.

Determinar la densidad de plantas de vetiveria en la longitud de hojas por planta que tiene influencia en la recuperación de suelos contaminados por plomo

### **1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Vetiveria (*Chrysopogon zizanooides*) debido a sus características fisiológicas, reduce positivamente la contaminación de los suelos por plomo, adaptándose fácilmente a las condiciones del suelo, conservando la humedad del suelo, mejorando las cosechas y capta grandes volúmenes del carbono

atmosférico. Dicha especie vegetal, puede sobrevivir en los dos extremos de los gradientes de temperatura y precipitación; la vetiveria es una solución de bajo costo al reducir el daño potencial de desastres y eventos extremos - prevención de deslizamientos, estabilización de tierras y control de erosión e inundaciones.

Además, reduce la intensidad de las inundaciones al disminuir el flujo del agua de lluvia en las pendientes y mejorar la recarga del agua en el subsuelo; mejora la calidad del agua al evitar el flujo de sedimentos y contaminantes hacia los ríos al comportarse como un filtro biológico.

Presenta un alto impacto social al constituir materia prima para artesanías y construcciones, asimismo por ser una planta estéril favorece su uso como barrera viva no invasora protegiendo y reduciendo los costos de mantenimiento de estructuras como represas, canales, carretas, etc. – todos vulnerables al cambio climático.

Por lo tanto, se justifica el presente trabajo de investigación por ser de carácter vital al generar una tecnología que permita la recuperación de suelos contaminados por metales pesados como el plomo.

## **1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

En base a los objetivos planteados se deducen las siguientes limitaciones:

No existen trabajos científicos para la recuperación de los suelos contaminados con plomo con la planta vetiveria en la provincia de Huánuco.

El factor económico es limitado ya que se tuvo que estar enviando muestra para los respectivos análisis a los laboratorios de Lima.

## **1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación desarrollada fue viable por los siguientes:

- El costo de las plantas es accesible

- La planta se adapta fácilmente al tipo de relieve de la zona
- Su sistema de crecimiento es muy simple, práctico, bajo mantenimiento.
- Excelente aptitud como planta captadora de metales pesados (Pb).
- Favorece su uso como barrera viva no invasora.
- Su raíz llega a crecer hasta 5 metros en su plenitud lo cual será de mucha ayuda para la absorción de plomo.
- Tiene la capacidad de resistir sequías y climas adversos.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1. Estudios internacionales

Rotkittikhun *et al* (2006) en su trabajo de investigación titulado “Growth and lead accumulation by the grasses *Vetiveria zizanioides* and *Thysanolaena maxima* in lead-contaminated soil amended with pig manure and fertilizer: A glasshouse study”, cuyo objetivo fue determinar el crecimiento y acumulación de plomo en *V. zizanioides* y *T. máxima*. Llegando a las siguientes conclusiones:

- La aplicación de fertilizantes inorgánicos no mejoró el crecimiento del vetiver, pero sí mejoró el de *T. maxima*.
- La aplicación de fertilizantes no tuvo una gran influencia en la absorción de Pb en el vetiver, mientras que *T. maxima* consumió más Pb como resultado de que el fertilizante mejoró su rendimiento de biomasa.
- Ambas especies transportaron concentraciones bajas de Pb a los brotes (83-179 mg.kg<sup>-1</sup>) y acumularon concentraciones más altas en las raíces (107-911 mg.kg<sup>-1</sup>).

Arce *et al* (2016) en su investigación “Uso de *Chrysopogon zizanioides* para la fitorremediación de suelos contaminados por As y Hg”, siendo el objetivo determinar la capacidad del *C. zizanioides* como fitorremediador de suelos contaminados con arsénico y mercurio. Donde llegó a la siguiente conclusión:

- *C. zizanioides* tolera los altos contenidos de mercurio del suelo, teniendo un crecimiento y desarrollo normal en cuanto a sus características físicas como rigidez, coloración y marchitez.

Vargas *et al* (2013) en su artículo “Comportamiento de la vetiveria (*Chrysopogon zizanioides* L. Roberty) como extractora de metales pesados en suelos contaminados”, tuvo como objetivo evaluar el comportamiento y la capacidad extractiva de la especie vetiveria en suelos contaminados por metales pesados. En dicho estudio se llegó a las siguientes conclusiones:

- La vetiveria presentó dificultades para sobrevivir en suelos altamente contaminados por metales pesados, sin embargo, presentó un buen desarrollo en suelos cuya actividad minera se abandonó hace más de 100 años.
- Las plantas sobrevivientes en los suelos altamente contaminados pertenecieron a los tratamientos que tenían un 10% de ácido húmico, lo que posiblemente el ácido húmico produce una inmovilización de los metales pesados

### **2.1.2. Estudios nacionales**

Chávez (2014) en su tesis “Fitorremediación con especies nativas en suelos contaminados por plomo”, teniendo como objetivo determinar la capacidad fitorremediadora de especies de flora nativa

- De las 37 especies evaluadas, 8 fueron encontradas con un potencial interesante de acumulación de plomo, de las cuales solo 2 fueron seleccionadas *Nicotiana thyrsoiflora* y *Calamagrostis vicunarium* por acumular plomo más de 1000 ppm de Pb en su materia seca (*Nicotiana*: Flores: 1882 ppm de Pb en flores, y 2136 ppm en tallos; *Calamagrostis*: 3180 ppm en materia seca radicular).
- En la segunda etapa del trabajo, *Nicotiana*, *Calamagrostis* y vetiver (testigo) se cultivaron en macetas, en el *Nicotiana* reporta mayor concentración de plomo de 276.7 ppm en zona radicular, y 96.5 ppm en zona aérea capacidad de natural de translocar el metal hacia las partes aéreas e inmovilización del metal en la raíz

Cori (2016) “Capacidad del vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) para la fitorremediación de suelos con plomo contaminado por relaves mineros; nivel de laboratorio, 2016”, con el objetivo de determinar la capacidad del vetiver para la fitorremediación de plomo en suelos contaminados por relaves mineros. En el cual concluyó en los siguiente:

- El vetiver logro captar en su raíz y hoja un total de 57,7 mg/kg de plomo que se encontraban en la muestra,
- La concentración inicial de plomo en el relave era un total de 1029,4 mg/kg de muestra llegando a la disminución de 969,8 mg/kg de muestra, el cual representa una reducción del 94% la contaminación por metales pesados.

### **2.1.3. Estudios locales**

Mays (2018) en su tesis “Reducción de la erosión hídrica del suelo, con la utilización de la *Vetiveria zizanioides* en la Microcuenca de Tingoragra – Nauyan Rondos, Provincia de Huánuco 2017”, tuvo como objetivo reducir la erosión hídrica, utilizando la vetiveria en los suelos de la microcuenca de Tingoragra-Rondos,

- El mayor volumen de suelo erosionado superficialmente producto de las precipitaciones fue en la Microparcela 03 – (Sin Plantaciones) con 11.68 t/Ha/Periodo de lluvia, seguido por la Microparcela 02 – (plantación de plantas nativas) con 8.2 t/Ha/periodo de lluvia, y finalmente la Microparcela 01 – (Plantacion de vetiveria) con 4.59 t/Ha/periodo de lluvia.
- Se determinó que la vetiveria redujo la erosión de suelo en la temporada de lluvia, en un 22.24 t/Ha en la microcuenca de Tingoragra-Rondos de la Provincia de Huánuco.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Contaminación de suelo por plomo**

La contaminación del suelo hace referencia a la acumulación de sustancias toxicas que superan el potencial de amortiguación del suelo, produciendo el empobrecimiento total o parcial de su fertilidad, dicha

acumulación es como consecuencia de actividades humanas o de manera natural (Morquehuana y Valverde, 2012).

Los metales pesados están presentes naturalmente en los suelos, pero se ha comprobado que en los últimos años se ha venido presentando una acumulación antropogénica por diversas actividades de tipo industrial, agrícola y mala disposición de residuos sólidos (Giuffré et al., 2005).

Tabla 1. Clasificación de suelos contaminados

Parámetro	Típicos para suelos no contaminados	Contaminación ligera	Contaminación	Contaminación alta	Contaminación inusualmente alta
pH (ácido)	6-7	5-6	4-5	2-4	<2
pH (alcalino)	7-8	8-9	9-10	10-12	>12
Arsénico	0-30	30-50	50-100	100-500	>500
Cadmio	0-1	1-3	3-10	10-50	>50
Cromo	0-100	100-200	200-500	500-25000	>2500
Cobre (disponible)	0-100	100-200	200-500	500-25000	>2500
<b>Plomo</b>	<b>0-500</b>	<b>500-1000</b>	<b>1000-2000</b>	<b>2000-1,0%</b>	<b>&gt;1%</b>
<b>Plomo disponible</b>	<b>0-200</b>	<b>200-500</b>	<b>500-1000</b>	<b>1000-5000</b>	<b>&gt;5000</b>
Manganeso	0-500	500-1000	1000-2000	2000-1,0%	>1%
Níquel (disponible)	0-20	20-50	50-200	200-1000	>1000
Zinc (disponible)	0-250	250-500	500-1000	1000-5000	>5000

**Fuente:** Environment Agency- Unión Europea

Los metales tienden a acumularse en la superficie del suelo quedando accesibles al consumo de las raíces de los cultivos, sin embargo, se reducen lentamente mediante la lixiviación, el consumo por las plantas, la erosión y la deflación (Puga et al., 2006).

Alkemi, (2017) señala que el plomo es un metal que se encuentra comúnmente en el suelo, el cual llega a la atmósfera a través de emanaciones de minas, fábricas, aleaciones, combustión del carbón, petróleo o desechos y las expulsiones de los vehículos de gasolina, siendo estos las causas principales de la contaminación de suelos por este metal.

En los últimos años se ha producido un vertiginoso acrecentamiento del nivel de plomo en la naturaleza, producto de las actividades industriales, como

la fundición, la minería, la fabricación de pinturas, la combustión de gasolina y el reciclaje de baterías ácidas (Cala y Kunimine, 2003).

#### **2.2.1.1. El plomo en el suelo**

Barrio (2013) indica que el plomo en el suelo puede ser inmovilizado gracias a la materia orgánica y la arcilla, pero si hay un pH ácido, el Pb es móvil y será tomado por las plantas.

Morquehuana y Valverde (2012) señalan que el alto grado de inmovilización del metal por el suelo está en razón directa con la capacidad de intercambio catiónico, y es inversamente proporcional al pH del suelo. Su equilibrio de sorción se alcanza bastante rápidamente. Recientemente se ha comprobado que la capacidad de intercambio catiónico, el pH, la materia orgánica y el nivel de fósforo disponible, pueden afectar directamente a la del suelo de eliminar el Pb de la solución.

Castillo (2010) manifiesta que el plomo no se desvanece, ni biodegrada o decae; cuando se acumula en el suelo puede ser una fuente peligrosa de contaminación a largo plazo, debido que queda inmóvil en el componente orgánico del suelo, quedando retenido en las capas superiores (2 a 5 cm) de los suelos no alterados, o en las capas más profundas cuando se ha removido.

#### **2.2.1.2. Fisiopatía del plomo en seres humanos**

El plomo ingresa al cuerpo humano por ingestión directa, por inhalación de polvo o por la cadena alimentaria (Barrio, 2013), se almacena lentamente en el cuerpo e incluso dosis bajas pueden eventualmente conducir a la intoxicación, no obstante, no existe evidencia científica de que el plomo proveniente de compuestos orgánico produzca cáncer en seres humanos, pero lo que se ha determinado es que el plomo inorgánico es carcinógeno en los humanos, algunas ratas desarrollaron tumores en el riñón al recibir dosis alta de plomo (Munive, 2018).



## **2.2.2. La vetiveria**

### **2.2.2.1. Taxonomía**

Es una especie de planta originaria de la India y África, de consistencia herbácea y perenne; que según National Research Council (1993) y Alegre (2007) la vetiveria presenta la siguiente clasificación taxonómica:

Familia:	Graminea o Poaceae
Subfamilia:	Panicoindae
Tribu:	Antropogoneae
Género:	<i>Chrysopogon</i>
Especie:	<i>Chrysopogon zizanoides</i>

### **2.2.2.2. Morfología de la planta**

#### **Raíz**

Sus raíces son fasciculadas, de apariencia esponjosa y macizo, no posee estolones y sus rizomas son robustos y no invasores (Detrinidad y Carballo, 2003), por lo que presenta una distribución tupida, las que pueden alcanzar más de tres metros (Troung, 2001; Detrinidad y Carballo, 2003); no tiene rizoma radicular o haces, por lo que la planta crece en grandes macollos (Alegre, 2007).

#### **Tallo**

Presenta tallos erguidos y rígidos, con altura entre 0.5 y 1.5 m (National Researh Council 1993; Alegre, 2007), son fuertes y lignificadas formando una especie de vallado compact que lo hace primordialmente apto como barrera viva (Detrinidad y Carballo, 2003).

#### **Hojas**

Son relativamente rígidas, de aspecto largo (75 cm de longitud) y estrecho (8 mm de ancho) (Alegre, 2007), de color verde oscuro y brillante, siendo agudos en el ápice, pero firmes y fuertes en la parte basal (Detrinidad

y Carballo, 2003); la lámina foliar es lisa y los márgenes son de apariencia áspera hacia abajo (Banco Mundial, 1995).

### **Inflorescencia**

Es una panícula o panoja que posee una longitud variable entre 15 a 40 cm de longitud (Banco Mundial, 1995; Alegre, 2007), presenta dos tipos de espiguillas: de característica sésil y hermafrodita y comprimida lateralmente, la otra es pedicelada y posee estambres (Banco Mundial, 1995).

#### **2.2.2.3. Exigencias climáticas y de suelo**

La vetiveria es una especie que tolera bajas y altas condiciones extremas de agua (Andrade *et al*, 1985; Banco Mundial, 1995; Alegre, 2007); debido a su alto contenido de sales de la savia de sus hojas (Alegre, 2007); así como también a periodos de inundaciones (Andrade *et al*, 1985; Banco Mundial, 1995). En cuanto a la temperatura, puede soportar heladas, aunque no muy prolongadas, reportándose temperaturas mínimas de – 15 y máximas de 40° C (Detrinidad y Carballo, 2003).

Respecto al suelo, es una planta alta capacidad de adaptación a diversas condiciones edáficas (Truong, 1999); suelos llanos o con mucha inclinación, fértiles o pobres, profundos o poco profundos (USDA, 2015); tolera valores de pH desde 3 hasta 11; a la salinidad, sodicidad. presencia de Al, As, Cd, Cu, Cr, Pb, Mn, Hg, Ni, Se y Zn en el suelo (Truong, 1999).

#### **2.2.2.4. Manejo del cultivo**

Detrinidad y Carballo (2003) indican que la vetiveria es una especie que la única forma de propagación es la asexual, mediante la separación de macollos que pueden ser entre dos a tres macollos, para ello se cortan las raíces 5 y 10 cm de largo y las hojas entre 15 y 20 cm. Para el establecimiento de semilleros, se establece usualmente en viveros a campo abierto, el terreno se prepara de manera habitual, y el trasplante se realiza entre 40 a 50 cm de separación entre plantas. Cuando las plantas posean 40 cm de longitud, se efectúa la poda, el cual estimula la emisión de brotes en la macolla. La fertilización es aplicada al mes de la siembra, aplicando de 10 a 20 g de

fertilizante completo. El momento de la cosecha se realiza cuando las plantas tengan entre 30 a 60 macollos (aproximadamente seis meses).

El manejo de la plantación puede variar de acuerdo al propósito del proyecto. Alegre (2007) señala que el manejo es sencillo, como es el caso de la estabilización de bordes (campos de cultivo, carreteras, caminos, etc.) es preferible realizar el vivero en bolsas plásticas, para ello se emplean plantas de 4 a 5 meses de edad y de 30 cm de longitud de hojas; estas se irrigan por 15 días, luego se colocan en bolsas pequeñas con sustrato de 3:1:1 de tierra vegetal: cascarilla de arroz: compost respectivamente. Al cabo de 45 a 60 días, las plantas de vetiveria se encuentran listas para el trasplante en campo definitivo, en este tiempo las plantas cuentan entre 3 a 5 brotes. Después del trasplante en el campo se debe aplicar agua durante 15 días en forma constante para que se adapte.

#### **2.2.2.5. Aplicaciones de la vetiveria**

USDA (2015) reporta que la vetiveria es una planta muy útil para controlar la erosión del suelo y es posible emplearlos en: predios de cultivo, orillas de las carreteras, caminos y canales de riego, bordes de charcas o represas, alerones de puentes y alcantarillas, taludes, estabilización de cárcavas, ornamentación y bioremediación

Otra de las cualidades de la vetiveria es en la ecología (Akhila y Rani, 2002), presenta excelentes características biológicas para la reducción de las aguas residuales y la absorción de altos niveles de contaminantes o metales pesados (Alegre, 2007)

### **2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES**

#### **Metal pesado**

Referido a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones incluso muy bajas. Entre ellos se encuentran al mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl), y plomo (Pb), entre otros (Álvarez, 2005).

### **Relave**

Desechos derivados de la minería por el procesamiento de minerales, los cuales muestran condiciones físicas y químicas perjudiciales para el desarrollo de plantas y microorganismos, debido a su fina granulometría, insuficiencia de materia orgánica, macronutrientes y elevadas concentraciones de metales y metaloides (Córdova, 2010).

### **Suelo**

Es un sistema conformado por tres fases: sólida, líquida y gaseosa; compuesto de material mineral y orgánico, diferenciado en horizontes de profundidad variable y distinto al material parental subyacente, por poseer propiedades físicas, químicas y biológicas diferentes (Adams, 1995).

### **Lixiviación**

Mecanismo de adsorción y precipitación de elementos, como son la textura, el contenido de materia orgánica, el pH, el contenido de carbonatos, etc. (Guzmán, 2007).

## **2.4. HIPÓTESIS**

### **2.4.1. Hipótesis general**

**Ho:** El uso de vetiveria no muestra efecto significativo en la recuperación de suelos contaminados por plomo

**Ha:** El uso de vetiveria muestra efecto significativo en la recuperación de suelos contaminados por plomo.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

#### **Hipótesis específico 1**

**Ho:** Las densidades de siembra de vetiveria no tienen influencia en la recuperación del suelo contaminado por plomo.

**Ha:** Las densidades de siembra de vetiveria tienen influencia en la recuperación del suelo contaminado por plomo.

### **Hipótesis específico 2**

**Ho:** Las densidades de siembra de vetiveria no tienen influencia en el número de macollos por planta para la recuperación de suelos contaminados por plomo

**Ha:** Las densidades de siembra de vetiveria tienen influencia en el número de macollos por planta para la recuperación de suelos contaminados por plomo

### **Hipótesis específico 3**

**Ho:** Las densidades de siembra de vetiveria no tienen influencia en el número de hojas por planta para la recuperación de suelos contaminados por plomo

**Ha:** Las densidades de siembra de vetiveria tienen influencia en el número de hojas por planta para la recuperación de suelos contaminados por plomo

### **Hipótesis específico 4**

**Ho:** Las densidades de siembra de vetiveria no tienen influencia en la longitud de macollos por planta para la recuperación de suelos contaminados por plomo

**Ha:** Las densidades de siembra de vetiveria tienen influencia en la longitud de macollos por planta para la recuperación de suelos contaminados por plomo

### **Hipótesis específico 5**

**Ho:** Las densidades de siembra de vetiveria no tienen influencia en la longitud de hojas por planta para la recuperación de suelos contaminados por plomo

**Ha:** Las densidades de siembra de vetiveria tienen influencia en la longitud de hojas por planta para la recuperación de suelos contaminados por plomo

## **2.5. VARIABLES**

### **2.5.1. Variable dependiente**

Recuperación de suelos contaminado por plomo.

### **2.5.2. Variable independiente**

Vetiveria

## 2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES (dimensiones e indicadores)

Tabla 2. Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD	INSTRUMENTO
<b>Independiente</b>				
Vetiveria	Densidad de siembra	Número de plantas / recipiente	Unidades de plantas	Estacas de vetiveria
<b>Dependiente</b>				
Recuperación de suelos contaminados con plomo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recuperación del suelo contaminado</li> <li>- Biomasa área de vetiveria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concentración residual de plomo</li> <li>- Características vegetativas cuantitativas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ppm de plomo</li> <li>- Unidades y centímetros de brotes y hojas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis de laboratorio por EAA.</li> <li>- Ficha de registro</li> </ul>

**Fuente:** Dávila, 2019

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El trabajo de investigación es de tipo Aplicada, porque se recurrió a los conocimientos científicos existentes sobre las propiedades fitorremediadoras de la vetiveria en la recuperación de suelos contaminados por plomo en condiciones de vivero de La Esperanza – Amarilis – Huánuco, 2019

##### **3.1.1. Enfoque**

El enfoque de la investigación cuantitativo, ya que plantea un problema delimitado y concreto del que se recolectó datos numéricos del fenómeno; se estudiará y analizará mediante procesos estadísticos para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.

##### **3.1.2. Alcance o nivel**

El estudio tiene un alcance explicativo, por lo que se pretendió explicar la manera como vetiveria recupera suelos contaminados por plomo y la relación que existe entre ellos.

##### **3.1.3. Diseño**

El diseño del trabajo de investigación es experimental, porque se manipuló la variable independiente (vetiveria), midiendo la respuesta en una variable dependiente (recuperación de suelos contaminados por plomo)

#### **3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA**

##### **Población**

Estuvo constituido por 150 kg de suelo contaminado con plomo obtenido de una calicata.



## **Muestra**

Se obtuvo por el método de cuarteo, el cual consistió en tomar cinco muestras de 5 kg cada una, las cuales fueron colocadas en envases específicos para el estudio.

### **3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **3.3.1. Técnicas de campo**

##### **Obtención del sustrato**

De la Localidad de la Esperanza se eligió al azar un terreno agrícola de donde se realizó una calicata con ayuda de pico y pala, del cual se extrajo 150 kilogramos de suelo y se almacenó en costales de 50 kilogramos para el traslado al vivero acondicionado. Finalmente, del sustrato se separó 1 kilogramo de suelo para los análisis respectivos en los Laboratorios de Suelos.

##### **Acondicionamiento de vivero**

Una vez obtenido el sustrato, se acondicionó un vivero en la zona donde se ejecutó la investigación, para ello se limpió el lugar elegido, removiendo piedras y rastros de plantas, luego en forma de cuadrado, se excavó una zanja pequeña con pico a una profundidad de 5 centímetros para introducir tablas de madera tornillo de 1" x 20" x 5' y en cada vértice se colocaron cuatro listones de 1"x 1" x 5'. Colocado los listones, se procedió a instalar el tinglado con malla rashell para brindar condiciones aptas de iluminación a las plantas.

##### **Preparación del sustrato**

El sustrato previamente fue cernido con una zaranda y palas para tener una condición física homogénea, con la finalidad que facilite la incorporación del plomo.

##### **Incorporación de plomo al suelo**

Del suelo cernido se apartó 5 kilogramos para cada recipiente en un recipiente de capacidad de 20 litros, en el cual se incorporó una concentración de  $100 \text{ mg.kg}^{-1}$  de nitrato de plomo al suelo, y con la ayuda de una agitadora de madera se mezcló hasta tener un sustrato homogéneo.

### **Llenado de sustrato y enfilado de recipiente**

Preparado el sustrato contaminado con plomo se llenaron en os recipientes y se colocaron en el vivero acondicionado. Luego se realizó un riego pesado con una regadera para garantizar la adherencia del plomo al sustrato.

### **Siembra de estacas de vetiveria**

En los recipientes con sustrato se introdujeron las estacas de vetiveria (30 cm) a una profundidad de cinco centímetros con la ayuda de un repicador de madera de acuerdo a los tratamientos en estudio, luego se efectuó un riego ligero para estimular al enraizado de las estacas.

### **3.3.2. Instrumentos mecánicos**

Los instrumentos para la realización del proyecto fueron: recipientes, wincha, pico, pala, lentes de seguridad, guardapolvo, guantes, balde de 20 L, bolsas herméticas, listones y tablas de madera, malla rashell, repicador de madera.

### **3.3.3. Datos registrados**

#### **Concentración residual de plomo**

Para determinar esta variable el sustrato se realizó un análisis de la concentración del plomo antes de realizar la siembra de las estacas de vetiveria en el Laboratorio de Análisis de Agua, Suelo y Medio Ambiente (LAASMA) de la Universidad Nacional Agraria La Molina, y al cabo de tres meses se efectuó un análisis final en el mismo laboratorio para establecer la concentración residual de plomo

#### **Biomasa área de vetiveria**

Esta variable se determinó registrando las características vegetativas cuantitativas del desarrollo de las estacas de vetiveria, como el número y longitud de macollos y hojas, el cual se evaluó cada 30 días

### 3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El análisis de los datos cuantitativos consistió en realizar las pruebas de Normalidad, como el test de Shapiro Wilks con la finalidad de definir la prueba estadística.

Como el resultado de la prueba de Normalidad para concentración residual del plomo fue no significativo (Anexo 12), se procedió a determinar la significación entre los tratamientos mediante la prueba de Kruskal Wallis al 0.05 de margen de error, dicha fórmula se expresa a continuación:

$$N = \sum_{i=1}^k n_i$$

Donde:

N = total de observaciones

k = muestras independientes k tratamientos

$n_i$  = tamaño de los tratamientos, para  $i = 1, \dots, k$

Por otro lado, la prueba de Normalidad fue significativa (Anexo 12) para la biomasa de vetiveria, razón por el cual se estableció las diferencias significativas entre los tratamientos a través al análisis de varianza o prueba de Fischer al 0.05 de margen de error, mediante el siguiente modelo lineal:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \ell_{ij}$$

Para  $i = 1, 2, 3, \dots, t$  (Nº de tratamientos)

$j = 1, 2, 3, \dots, r$  (Nº de repeticiones)

Donde:

$Y_{ij}$  = Unidad experimental que recibe el tratamiento i y está en el bloque j

$\mu$  = Media general a la cual se espera alcanzar todas las observaciones (media poblacional)

$\pi_i$  = Efecto verdadero del  $i$ ésimo tratamiento

$\epsilon_{ij}$  = Error experimental

Luego de realizar el análisis de varianza, en aquellos casos donde se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos, se realizó la Prueba de Comparación Múltiple de Tukey al 0.05 de probabilidad de error, para especificar entre cuales de los tratamientos se presentaron las diferencias. Para todo el análisis estadístico se utilizó el software INFOSTAT 2019.

El estudio tuvo como factor a la variable vetiveria para demostrar su efecto en la recuperación del suelo contaminado a través de tres tratamientos, los cuales se pueden observar en la tabla siguiente:

Tabla 3. Tratamientos en estudio.

<b>FACTOR</b>	<b>CLAVE</b>	<b>TRATAMIENTOS</b>
Vetiveria	T1	Densidad de siembra 1: 6 estacas por recipiente
	T2	Densidad de siembra 1: 9 estacas por recipiente
	T3	Densidad de siembra 1: 12 estacas por recipiente

**Fuente;** Dávila, 2019

## CAPÍTULO IV RESULTADOS

### 4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

#### 4.1.1. Recuperación de suelo contaminado por plomo

La recuperación del suelo contaminado por plomo indica que existió un incremento del metal en el suelo, al evidenciar una mayor concentración final del plomo (Tabla 4), esta diferencia se representa gráficamente en la Figura 1.

Tabla 4. Concentración inicial, final y residual de plomo en el suelo contaminado por tratamientos.

Concentración promedio de plomo (ppm)	T1	T2	T3
Inicial	130.80	130.80	130.80
Final	198.19	173.45	175.04
<b>Residual</b>	<b>67.39</b>	<b>42.65</b>	<b>44.24</b>

Fuente: Dávila, 2019

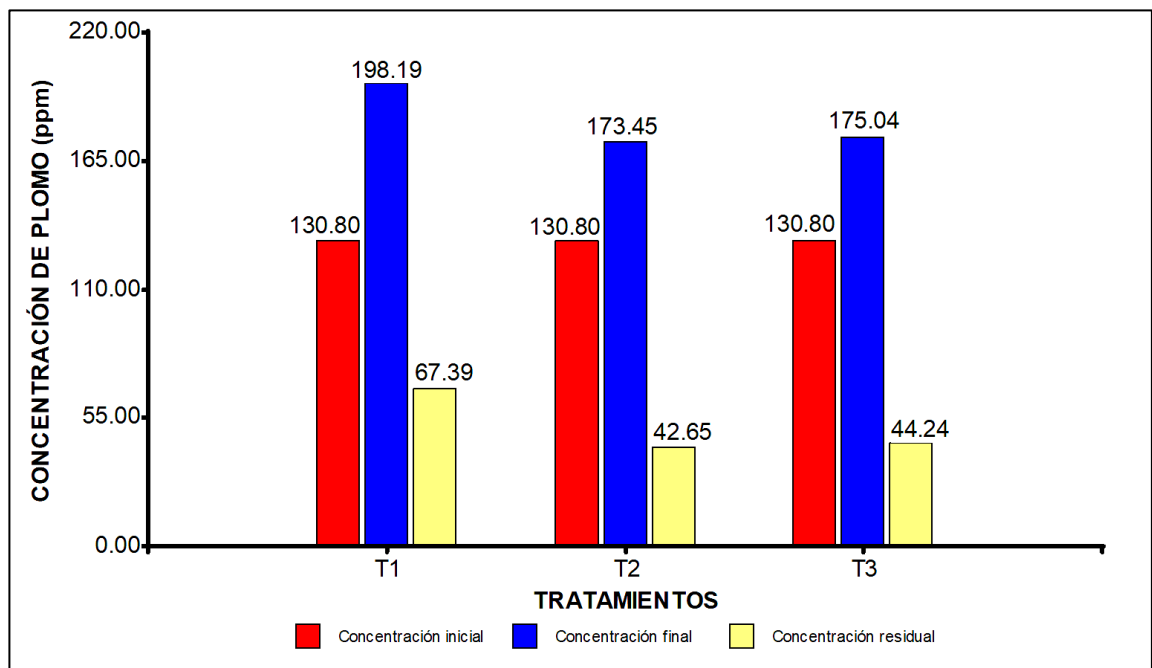


Figura 1. Concentración inicial, final y residual de plomo del suelo contaminado.

En la Tabla 5 se muestran los estadísticos descriptivos de para concentración residual del plomo en los tratamientos, donde se observa un promedio mayor en el Tratamiento T1 con 67.39 ppm, seguido de los tratamientos T3 y T2 con 44.34 y 42.65 ppm (Figura 2); los tratamientos T3 y T2 reportan una mayor mediana que el tratamiento T1. Por otro lado, el tratamiento T1 revela una mayor dispersión al registrar valores altos en la desviación estándar ( $\pm 84.41$  ppm), coeficiente de variabilidad (125.25%) y rango intercuartil (117.85 ppm) en comparación con los tratamientos T3 y T2, siendo este último el que obtuvo una menor dispersión en la concentración residual del plomo.

Este comportamiento del Tratamiento T2 se observa en mayor claridad en la Figura 3, el cual la concentración residual de plomo fue más homogéneo al reportar un rango intercuartil de 37.13 ppm y por la coincidencia de la mediana con el cuartil 2 (Q2). El tratamiento T3 también revela un comportamiento homogéneo, sin embargo, obtuvo valores máximos más altos que el tratamiento T2.

Tabla 5. Estadísticos descriptivos para concentración residual de plomo en los tratamientos

<b>Estadígrafos</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
Promedio	67.39	42.65	44.24
Mediana	17.88	41.80	34.43
Minino	0.42	20.49	8.68
Máximo	188.26	64.34	101.45
Rango	187.84	43.85	92.77
Desviación Estándar	$\pm 84.41$	$\pm 20.33$	$\pm 36.72$
Coeficiente de Variabilidad	125.25%	47.65%	83.00%
Rango intercuartil	117.85	37.13	37.15

**Fuente:** Dávila, 2019

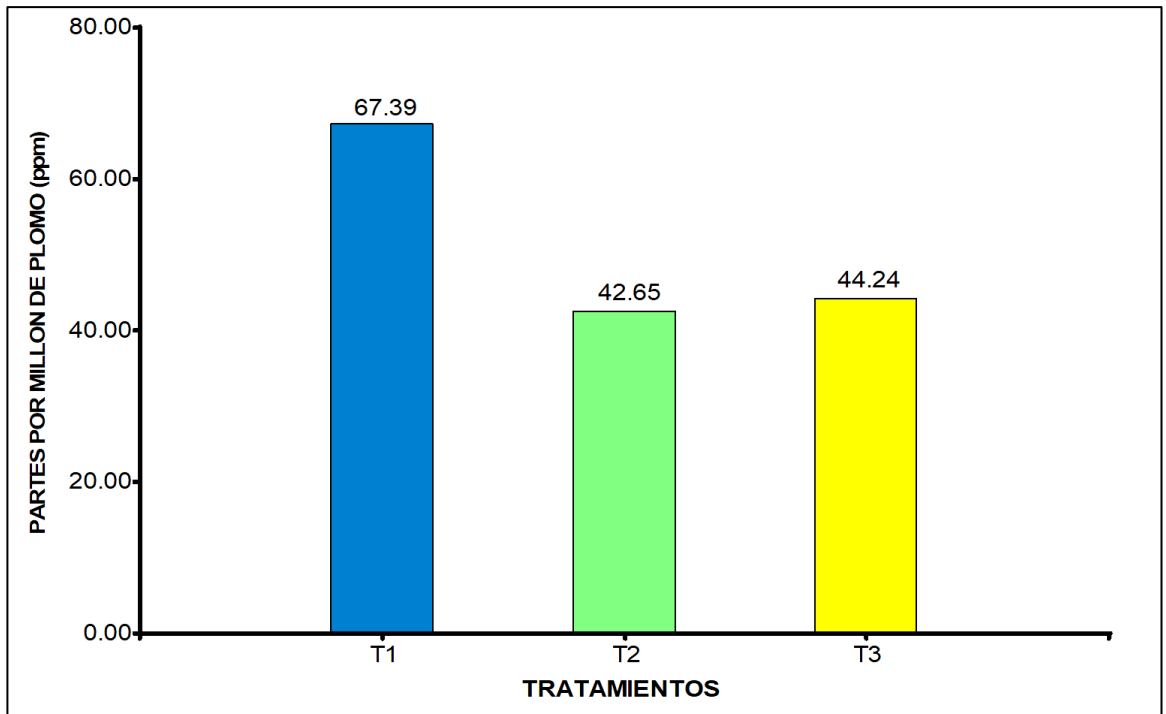


Figura 2. Promedios de los tratamientos respecto a la concentración residual de plomo

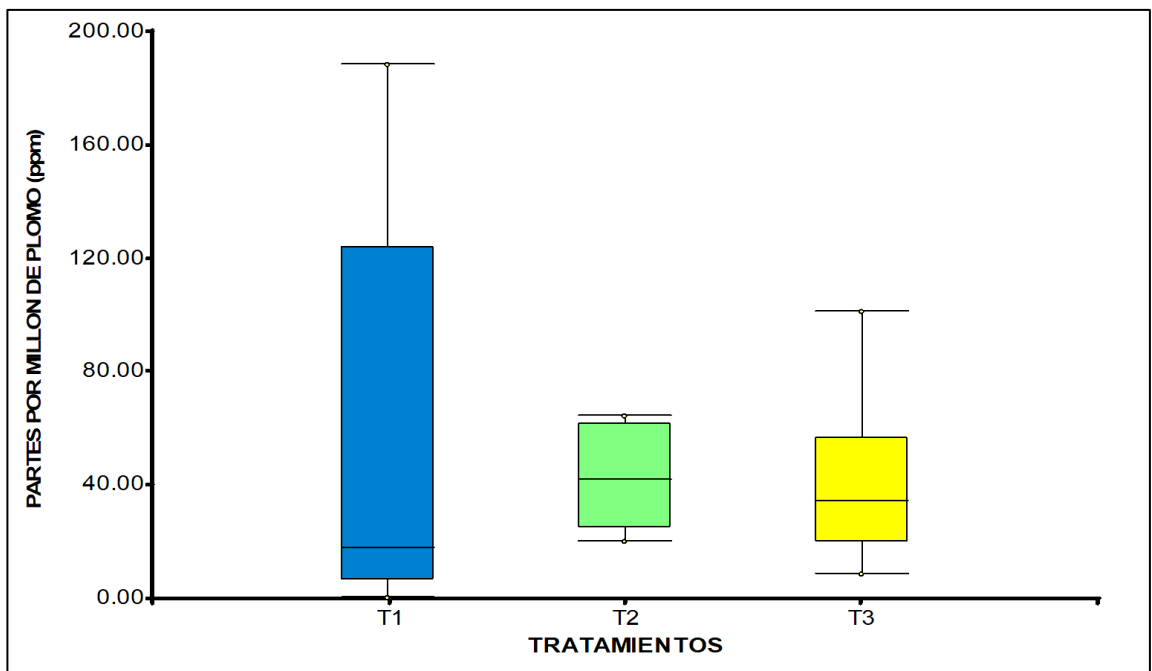


Figura 3. Diagrama de cajas para concentración residual de plomo.

#### 4.1.2. Biomasa área de vetiveria

##### Número de macollos por planta

En la Tabla 6 se contempla los estadísticos descriptivos para número de macollos por planta, donde se muestra que el número oscila entre 1.27 a 2.21 en el mes de setiembre y de 1.68 a 1.99 en el mes de octubre; por otro lado, revela que el número de macollos por planta obtuvo una variabilidad homogénea en todos los tratamientos tanto en el mes de setiembre como en el mes de octubre, excepto en el tratamiento T1 durante el mes de setiembre, asimismo los rangos intercuartiles expresan valores ajustados en todos los tratamientos durante los meses de setiembre y octubre.

En cuanto al comportamiento de la vetiveria, el tratamiento T1 muestra un incremento entre setiembre y octubre, mientras que los tratamientos T2 y T3 el número de macollos decreció ligeramente para el mes de octubre, tal como se representa en la Figura 4.

Tabla 6. Estadísticos descriptivos para número de macollos por planta

Estadígrafos	Setiembre			Octubre		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Promedio	1.27	1.90	2.21	1.68	1.72	1.99
Mediana	1.00	2.00	2.00	1.75	1.80	1.90
Minino	1.00	1.60	1.60	1.40	1.50	1.38
Máximo	2.00	2.50	2.75	2.00	2.50	2.75
Rango	1.00	0.90	1.15	0.60	1.00	1.38
Desviación estándar	0.43	0.37	0.44	0.19	0.16	0.45
Coefficiente de variabilidad	34.31%	19.25%	20.13%	11.51%	9.24%	22.62%
Rango intercuartil	0.33	0.33	0.50	0.26	0.23	0.31

Fuente: Dávila, 2019



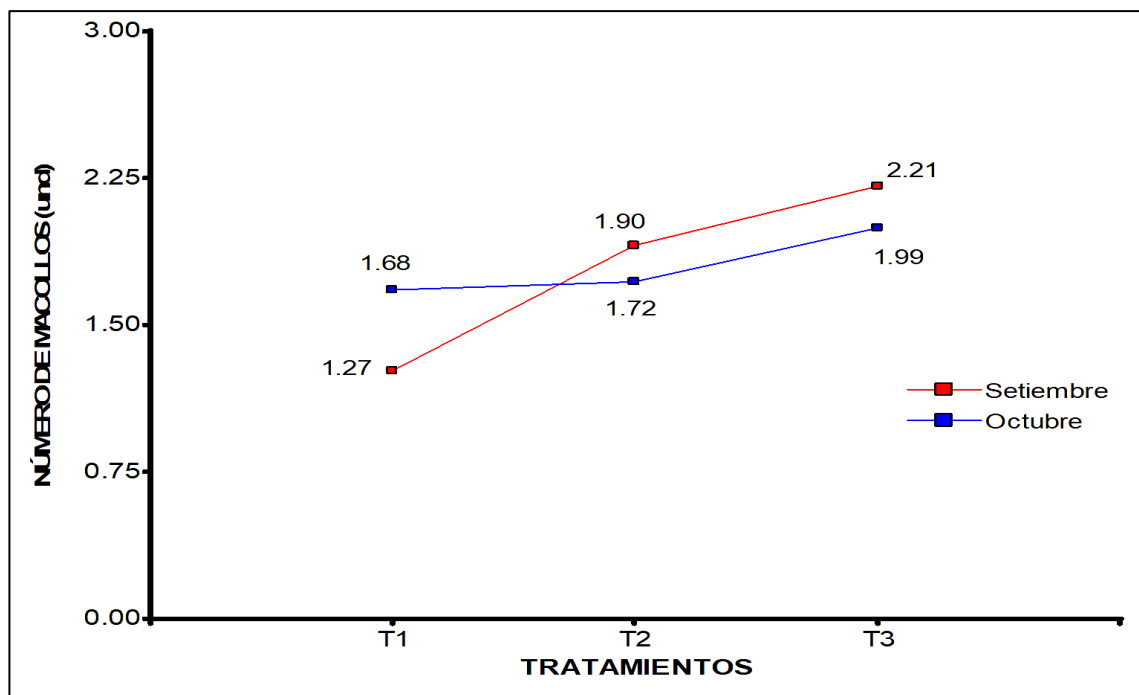


Figura 4. Comportamiento del número de macollos por planta en los meses de setiembre y octubre

### Número de hojas por planta

La Tabla 7 muestra los estadísticos descriptivos para el número de hojas por planta, que durante el mes de setiembre el número de hojas osciló de 1.75 a 2.66, y en el mes de octubre varió entre 5.23 a 5.34 hojas por planta; respecto a la variabilidad los tratamientos, se distinguen valores que garantizan la homogeneidad de los datos durante los meses de setiembre y octubre para todos los tratamientos.

El promedio del tratamiento T3 reporta un mayor número de macollos por planta en los meses de setiembre y octubre con 2.66 y 5.34 macollos, el incremento del número de hojas es evidente en el mes de setiembre, mientras que en el mes de octubre el número de hojas se evidencian diferencias, tal como se observa en la Figura 5.

Tabla 7. Estadísticos descriptivos para número de hojas por planta

Estadígrafos	Setiembre			Octubre		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Promedio	1.75	2.18	2.66	5.23	5.27	5.34
Mediana	1.67	2.17	2.50	5.00	5.50	5.17
Minino	1.40	1.80	2.25	4.40	4.33	4.75
Máximo	2.17	2.40	3.67	6.00	6.00	6.75
Rango	0.77	0.60	1.42	1.60	1.67	2.00
Desviación estándar	0.33	0.25	0.57	0.64	0.63	0.82
Coefficiente de variabilidad	18.73%	11.29%	21.41%	12.31%	11.97%	15.28%
Rango intercuartil	0.50	0.26	0.10	0.75	0.50	0.45

Fuente: Dávila, 2019

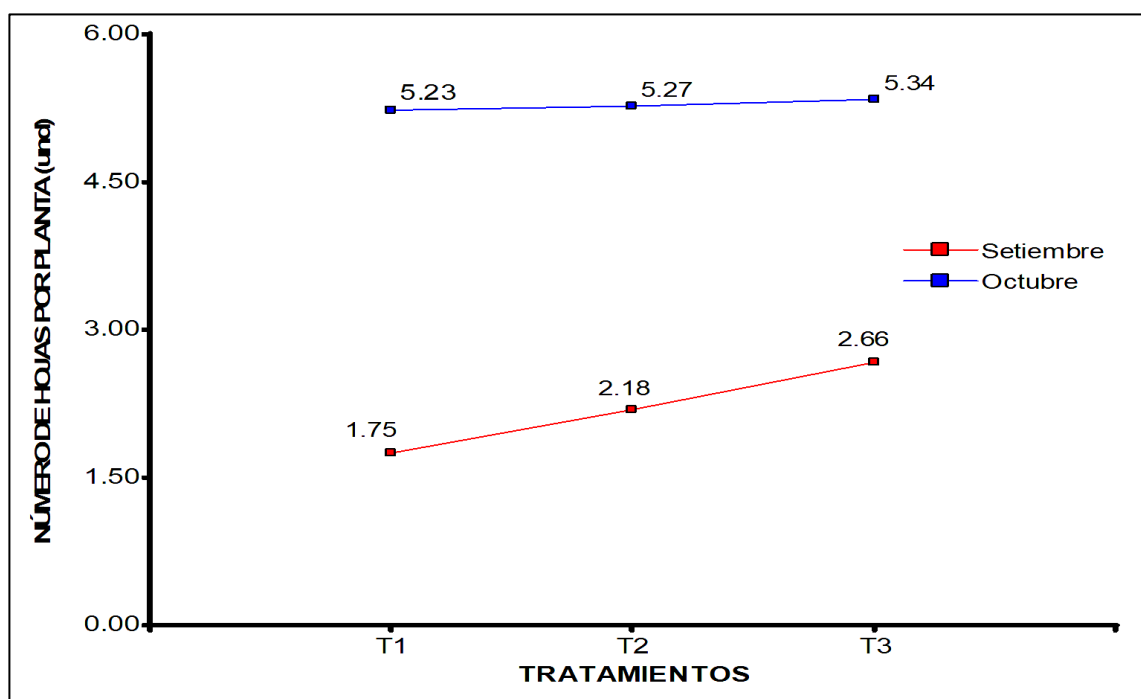


Figura 5. Comportamiento del número de hojas por planta en los meses de septiembre y octubre

### Longitud de macollos por planta

En la Tabla 8 se consigna los estadísticos descriptivos para longitud de macollos por planta, donde se muestra que longitud oscila entre 11.79 a 13.18 cm en el mes de setiembre y de 22.00 a 22.31 cm en el mes de octubre; no obstante, la dispersión de los datos revela que los resultados obtenidos fueron semejantes, siendo en el T2 del mes de octubre se denota la mayor variabilidad con 18.89%, asimismo registra mayor rango intercuartil con 6.92 cm a diferencia de los demás tratamientos donde el rango intercuartil no supera el 3.95 cm

Respecto al comportamiento de la vetiveria en la longitud de macollos, los tratamientos muestran incremento en la longitud para todos los tratamientos durante los meses de setiembre a octubre, de los cuales destacaron los tratamientos T3 y T1, tal como se representa en la Figura 6.

Tabla 8. Estadísticos descriptivos para longitud de macollos por planta

Estadígrafos	Setiembre			Octubre		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Promedio	11.79	12.97	13.18	22.00	22.17	22.31
Mediana	11.25	13.33	14.20	22.00	20.75	22.50
Minino	10.40	12.00	10.33	18.20	17.67	18.75
Máximo	13.29	13.50	15.25	28.25	27.00	25.00
Rango	2.89	1.50	4.92	10.05	9.33	6.25
Desviación Estándar	1.28	0.68	2.14	4.01	4.19	2.39
Coeficiente de Variabilidad	10.86%	5.25%	16.22%	18.23%	18.89%	10.71%
Rango intercuartil	2.00	1.00	3.10	3.95	6.92	2.30

Fuente: Dávila, 2019

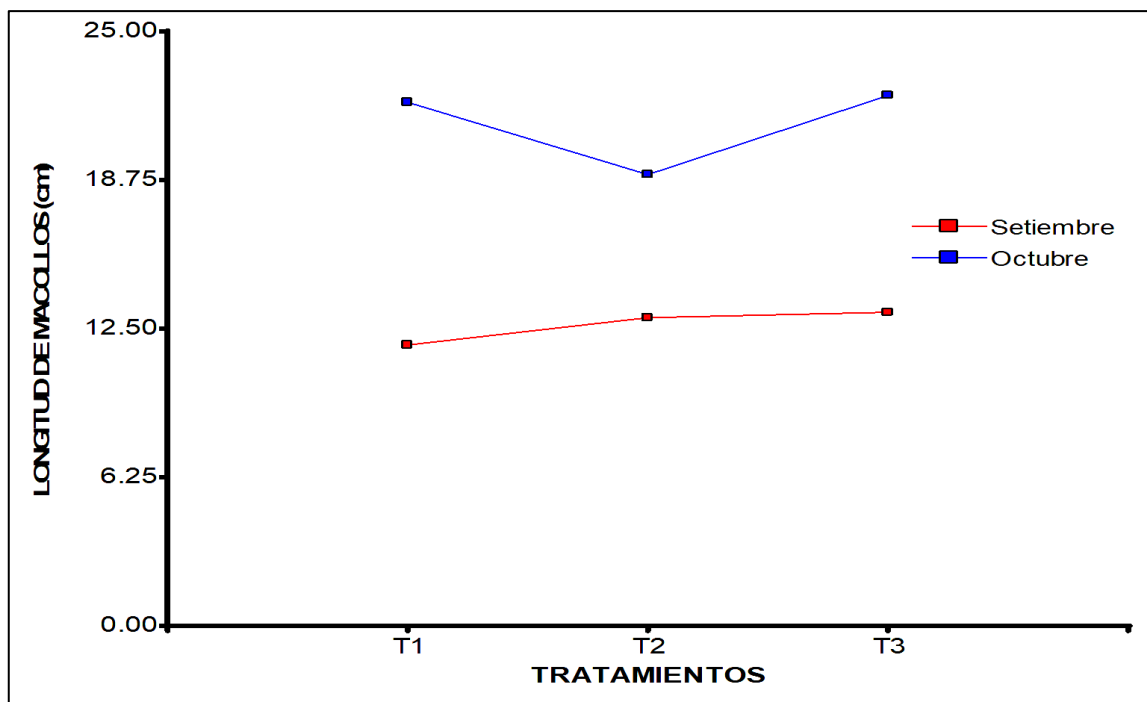


Figura 6. Comportamiento del número de macollos por planta en los meses de setiembre y octubre

### Longitud de hojas por planta

La Tabla 9 revela los estadísticos descriptivos para la longitud de hojas de por planta durante los meses de setiembre y octubre, los cuales denotan el incremento de la longitud de hojas, que durante el mes de setiembre la longitud de hojas osciló de 20.60 a 25.66 cm, y en el mes de octubre varió entre 40.20 a 41.15 cm por planta; respecto a la variabilidad los tratamientos, consignan valores que muestran la similitud en todos los tratamientos

El promedio del tratamiento T3 reporta un mayor número de macollos por planta en los meses de setiembre y octubre con 25.66 y 41.15 cm, el incremento del número de hojas es evidente en el mes de setiembre, mientras que en el mes de octubre el número de hojas se evidencian diferencias, tal como se observa en la Figura 7.

Tabla 9. Estadísticos descriptivos para longitud de macollos por planta

Estadígrafos	Setiembre			Octubre		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Promedio	20.65	23.10	25.66	41.82	40.10	41.15
Mediana	19.80	22.80	27.00	43.67	39.00	40.40
Minino	17.40	20.43	21.20	34.33	34.50	34.33
Máximo	24.29	24.80	29.83	45.33	49.67	51.00
Rango	6.89	4.37	8.63	11.00	15.17	16.67
Desviación Estándar	2.60	1.82	3.66	4.37	6.23	6.10
Coefficiente de Variabilidad	12.61%	7.86%	14.25%	10.46%	15.53%	14.82%
Rango intercuartil	2.25	2.13	5.25	2.25	7.33	2.00

Fuente: Dávila, 2019

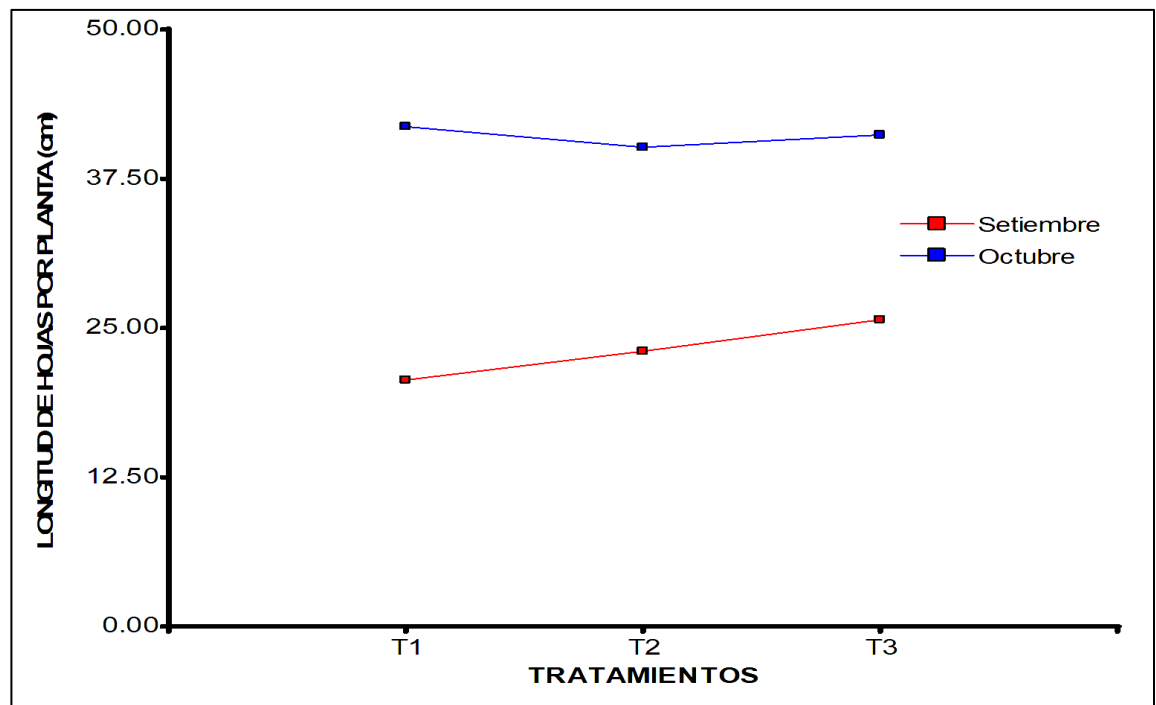


Figura 7. Comportamiento de la longitud de hojas por planta en los meses de septiembre y octubre

## 4.2. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

### 4.2.1. Recuperación de suelo contaminado por plomo

#### Planteamiento de la hipótesis

**Ho:** Las densidades de siembra de vetiveria no tienen influencia en la recuperación del suelo contaminado por plomo.

**Ha:** Las densidades de siembra de vetiveria tienen influencia en la recuperación del suelo contaminado por plomo.

#### Nivel de significancia

$p = 0.05$  de margen de error.

#### Elección de la prueba

Prueba No Paramétrica de Kruskal Wallis

#### Desarrollo de la prueba

Tabla 10. Prueba de Kruskal Wallis para concentración residual de plomo del suelo contaminado

TRATAMIENTOS	Medias	Medianas	gl	H	p
T1	67.39	17.88	2	0.42	0.8106
T2	42.65	41.80			
T3	44.24	34.43			

Fuente: Dávila, 2019

#### Conclusión

La Prueba de Kruskal Wallis al 0.05 de probabilidad de error para la variable concentración residual de plomo en el suelo contaminado, se consigna en la Tabla 10, el cual denota un valor de p ( $p=0.8106$ ) superior al nivel de significancia ( $p=0.05$ ), lo que indica la aceptación de la hipótesis nula ( $H_0$ ), el cual comprende que no existe diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (densidades de vetiveria), es decir, se comportaron de manera semejante en la concentración residual de plomo contaminado

## 4.2.2. Biomasa aérea

### 4.2.2.1. Número de macollos por planta

#### Planteamiento de la hipótesis

**Ho:** Las densidades de siembra de vetiveria no tienen influencia en el número de macollos por planta para la recuperación de suelos contaminados por plomo

**Ha:** Las densidades de siembra de vetiveria tienen influencia en el número de macollos por planta para la recuperación de suelos contaminados por plomo

#### Nivel de significancia

$p = 0.05$  de margen de error.

#### Elección de la prueba

Prueba Paramétrica de Fischer o Análisis de un solo factor

#### Desarrollo de la prueba

Tabla 11. Prueba de Fischer o análisis de un solo factor para número de macollos por planta en el mes de septiembre

F.V.	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado	p-valor
Tratamientos	2	2.32	1.16	6.68	0.0112
Error experimental	12	2.08	0.17		
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>4.40</b>			

Fuente: Dávila, 2019

Tabla 12. Prueba de Fischer o análisis de un solo factor para número de macollos por planta en el mes de octubre

F.V.	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado	p-valor
Tratamientos	2	0.29	0.15	1.65	0.2322
Error experimental	12	1.06	0.09		
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>1.35</b>			

Fuente: Dávila, 2019

### **Conclusión**

La Prueba de Fischer concluye que se acepta la  $H_a$  al evidenciar un p-valor ( $p=0.0112$ ) menor al nivel de significancia ( $p=0.05$ ), por lo tanto, el resultado fue significativo para el número de macollos por planta en el mes de setiembre (Tabla 11), mientras que el p-valor en el mes de octubre, la Prueba de Fischer revela un p-valor ( $p=0.2322$ ) mayor al nivel de significancia ( $p=0.05$ ), el cual denota un resultado no significativo (Tabla 12).

Como el resultado de la prueba fue significativo en el mes de setiembre se efectuó la prueba de comparación de medias de Tukey para determinar la diferencia de los tratamientos. En la Tabla 13 se observa la Prueba de Tukey, donde el tratamiento T3 expresa diferencias frente a los tratamientos T2 y T1 en el número de macollos por planta.

Tabla 13. Prueba de comparación de Tukey para número de macollos por planta en el mes de setiembre

Tratamientos	Medias	Significación ( $\alpha=0.05$ )
T3	2.21	A
T2	1.90	A B
T1	1.27	B

Fuente: Dávila, 2019



#### 4.2.2.2. Número de hojas por planta

##### Planteamiento de la hipótesis

**Ho:** Las densidades de siembra de vetiveria no tienen influencia en el número de hojas por planta para la recuperación de suelos contaminados por plomo

**Ha:** Las densidades de siembra de vetiveria tienen influencia en el número de hojas por planta para la recuperación de suelos contaminados por plomo

##### Nivel de significancia

$p = 0.05$  de margen de error.

##### Elección de la prueba

Prueba Paramétrica de Fischer o Análisis de un solo factor

##### Desarrollo de la prueba

Tabla 14. Prueba de Fischer o análisis de un solo factor para número de hojas por planta en el mes de septiembre.

<b>F.V.</b>	<b>Grado de libertad</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F calculado</b>	<b>p-valor</b>
Tratamientos	2	2.10	1.05	6.36	0.0131
Error experimental	12	1.98	0.17		
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>1.75</b>			

Fuente: Dávila, 2019

Tabla 15. Prueba de Fischer o análisis de un solo factor para número de macollos por planta en el mes de octubre

F.V.	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado	p-valor
Tratamientos	2	0.03	0.02	0.03	0.9662
Error experimental	12	5.95	0.49		
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>5.95</b>			

Fuente: Dávila, 2019

### **Conclusión**

La Prueba de Fischer concluye que se acepta la  $H_a$  al evidenciar un p-valor ( $p=0.0131$ ) menor al nivel de significancia ( $p=0.05$ ), por lo tanto, el resultado fue significativo para el número de hojas por planta en el mes de setiembre (Tabla 14), mientras que el p-valor en el mes de octubre, la Prueba de Fischer revela un p-valor ( $p=0.9662$ ) mayor al nivel de significancia ( $p=0.05$ ), el cual denota un resultado no significativo (Tabla 15)

Como el resultado de la prueba fue significativo en el mes de septiembre se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey para determinar la diferencia de los tratamientos. En la Tabla 16 se observa la Prueba de Tukey, donde el tratamiento T3 expresa diferencias frente a los tratamientos T2 y T1 en el número de macollos por planta.

Tabla 16. Prueba de comparación de Tukey para número de macollos por planta en el mes de septiembre

Tratamientos	Medias	Significación ( $\alpha=0.05$ )
T3	2.66	A
T2	2.18	A B
T1	1.75	B

Fuente: Dávila, 2019

#### 4.2.2.3. Longitud de macollos por planta

##### Planteamiento de la hipótesis

**Ho:** Las densidades de siembra de vetiveria no tienen influencia en la longitud de macollos por planta para la recuperación de suelos contaminados por plomo

**Ha:** Las densidades de siembra de vetiveria tienen influencia en la longitud de macollos por planta para la recuperación de suelos contaminados por plomo

##### Nivel de significancia

$p = 0.05$  de margen de error.

##### Elección de la prueba

Prueba Paramétrica de Fischer o Análisis de un solo factor

##### Desarrollo de la prueba

Tabla 17. Prueba de Fischer o análisis de un solo factor para longitud de macollos por planta en el mes de septiembre.

<b>F.V.</b>	<b>Grado de libertad</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>F calculado</b>	<b>p-valor</b>
Tratamientos	2	5.60	2.80	1.26	0.3192
Error experimental	12	26.70	2.23		
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>32.30</b>			

Fuente: Dávila, 2019

Tabla 18. Prueba de Fischer o análisis de un solo factor para longitud de macollos por planta en el mes de octubre

F.V.	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado	p-valor
Tratamientos	2	0.24	0.12	0.01	0.9909
Error experimental	12	157.25	13.10		
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>157.49</b>			

Fuente: Dávila, 2019

### **Conclusión**

La Prueba de Fischer concluye que se acepta la  $H_a$  al evidenciar un p-valor en el mes de septiembre (( $p=0.3192$ ) y octubre ( $p=0.9909$ ) mayor al nivel de significancia ( $p=0.05$ ), por lo tanto, el resultado no fue significativo para longitud de macollos por planta (Tabla 17 y 18). Por lo tanto, se asume que los tratamientos son iguales estadísticamente, y no se efectuó la prueba de Tukey.

#### **4.2.2.4. Longitud de hojas por planta**

##### **Planteamiento de la hipótesis**

**$H_0$ :** Las densidades de siembra de vetiveria no tienen influencia en la longitud de hojas por planta para la recuperación de suelos contaminados por plomo

**$H_a$ :** Las densidades de siembra de vetiveria tienen influencia en la longitud de hojas por planta para la recuperación de suelos contaminados por plomo

##### **Nivel de significancia**

$p = 0.05$  de margen de error.

##### **Elección de la prueba**

Prueba Paramétrica de Fischer o Análisis de un solo factor

## Desarrollo de la prueba

Tabla 19. Prueba de Fischer o análisis de un solo factor para longitud de hojas por planta en el mes de septiembre.

F.V.	Grado de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado	p-valor
Tratamientos	2	62.71	31.35	4.01	0.0463
Error experimental	12	93.78	7.82		
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>156.49</b>			

Fuente: Dávila, 2019

Tabla 20. Prueba de Fischer o análisis de un solo factor para longitud de hojas por planta en el mes de octubre

F.V.	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F calculado	p-valor
Tratamientos	2	7.48	3.74	0.12	0.8898
Error experimental	12	380.48	31.71		
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>387.96</b>			

Fuente: Elaboración propia del tesista

## Conclusión

La Prueba de Fischer concluye que se acepta la  $H_a$  al evidenciar un p-valor ( $p=0.0131$ ) menor al nivel de significancia ( $p=0.05$ ), por lo tanto, el resultado fue significativo para el número de hojas por planta en el mes de setiembre (Tabla 19), mientras que el p-valor en el mes de octubre, la Prueba de Fischer revela un p-valor ( $p=0.9662$ ) mayor al nivel de significancia ( $p=0.05$ ), el cual denota un resultado no significativo (Tabla 20)

Debido al resultado significativo de la Prueba de Fischer en el mes de septiembre, se realizó la prueba de comparación de medias de Tukey para determinar la diferencia de los tratamientos. En la Tabla 21 se observa la Prueba de Tukey, donde el tratamiento T3 expresa diferencias frente a los tratamientos T2 y T1 en el número de macollos por planta.

Tabla 21. Prueba de comparación de Tukey para número de macollos por planta en el mes de septiembre

<b>Tratamientos</b>	<b>Medias</b>	<b>Significación (<math>\alpha=0.05</math>)</b>
T3	25.66	A
T2	23.10	A B
T1	20.65	B

Fuente: Elaboración propia del tesista

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

#### 5.1. Contrastación de los resultados del trabajo de investigación

Los resultados del presente trabajo de investigación se discuten en función a la concentración residual del plomo y la biomasa aérea de vetiveria, a través de los siguientes aspectos:

- El resultado la concentración residual de plomo indica que no se evidencia estadísticamente diferencia entre los tratamientos en estudio, es decir que la densidad de plantas de vetiveria no influyen en la concentración residual del plomo. Por otro lado, de acuerdo al análisis del suelo contaminado, no se logró demostrar la absorción de plomo por las plantas de vetiveria, tal como encontró Cori (2016) en su investigación “Capacidad del vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) para la fitorremediación de suelos con plomo contaminado por relaves mineros; nivel de laboratorio, 2016”, donde logró determinar una reducción del 94% de la contaminación por metales pesados. El resultado obtenido se puede explicar a que el plomo se puede verse inmovilizado por la baja concentración de materia orgánica y a un pH neutro del suelo (Barrio, 2013), el cual es corroborado con los resultados de Vargas *et al* (2013) en su artículo “Comportamiento de la vetiveria (*Chrysopogon zizanioides* L. Roberty) como extractora de metales pesados en suelos contaminados.
- Respecto a la biomasa aérea de vetiveria los resultados indican que el número de macollos, número de hojas y longitud de hojas por planta sólo se encuentra significación en el mes de septiembre, destacando el tratamiento T3 (12 plantas por recipiente), mientras que en el mes de octubre todos los tratamientos tuvieron un mismo efecto sobre las variables evaluadas, mostrando la sobrevivencia y crecimiento de las

plantas de vetiveria en el suelo contaminado, resultados que coinciden con el estudio de Arce *et al* (2016) titulado “Uso de *Chrysopogon zizanioides* para la fitorremediación de suelos contaminados por As y Hg”, quien reporta un crecimiento normal de las plantas de vetiveria. Los promedios obtenidos en cuanto a la longitud de hojas en el mes de octubre oscilaron entre 40.10 a 41.82 cm, denotan que no se mostró un crecimiento sobresaliente, lo que coincide con Rotkittikhun *et al* (2006) en su trabajo titulado “Growth and lead accumulation by the grasses *Vetiveria zizanioides* and *Thysanolaena maxima* in lead-contaminated soil amended with pig manure and fertilizer: A glasshouse study”. Por lo que, el crecimiento de la biomasa área de las plantas de vetiveria mostró dificultades en el suelo contaminado, esto hace alusión a la conclusión de Vargas *et al* (2013) en su artículo “Comportamiento de la vetiveria (*Chrysopogon zizanioides* L. Roberty) como extractora de metales pesados en suelos contaminados”.



## CONCLUSIONES

Los resultados del presente trabajo de investigación permiten plantear las siguientes conclusiones en base a los objetivos planteados:

- La concentración residual de plomo del suelo contaminado señala que el Tratamiento T1 con 67.39 ppm, seguido de los tratamientos T3 y T2 con 44.34 y 42.65 ppm.
- El número de macollos por planta osciló entre 1.27 a 2.21 en el mes de setiembre y de 1.68 a 1.99 en el mes de octubre.
- El número de hojas por planta, que durante el mes de setiembre el número de hojas osciló de 1.75 a 2.66, y en el mes de octubre varió entre 5.23 a 5.34 hojas por planta.
- La longitud de macollos por planta, fluctuó entre 11.79 a 13.18 cm en el mes de setiembre y de 22.00 a 22.31 cm en el mes de octubre.
- La longitud de hojas de por planta durante el mes de setiembre la longitud de hojas osciló de 20.60 a 25.66 cm, y en el mes de octubre varió entre 40.20 a 41.15 cm por planta

## RECOMENDACIONES

- Para efectuar nuevamente el estudio considerar el análisis de materia orgánica y pH del suelo o sustrato de las macetas, con la finalidad de garantizar la movilidad del plomo en la solución del suelo y comprobar la absorción de plomo por las plantas de vetiveria.
- Incorporar materia orgánica para incrementar el porcentaje de materia orgánica y acidificar el suelo para asegurar la movilidad del plomo en la solución del suelo.
- Emplear suelo contaminado de las partes aledañas a la actividad minera para demostrar la capacidad de sobrevivencia de las plantas de vetiveria.
- Estudiar la capacidad de absorción de metales pesados por las plantas de vetiveria, así como determinar la acumulación en los órganos de la planta bajo las condiciones de Huánuco.
- Identificar otras especies de plantas que posean la capacidad de absorción y acumulación de metales pesados en la región Huánuco.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abhilash, PC; Pandey VC; Srivastva P; Rakesh PS; Chandran, S; Singh N; Thomas, AP. (2009). Phytofiltration of cadmium from water by *Limnocharis flava* (L.) Buchenau grown in free-floating culture system. *J. Haz. Mat.* 170:791–797
- Adams, M. (1995). *Fundamentos de Química de suelos*. Universidad Central de Venezuela. ISBN 980-00-0669-9.
- Adams. (2001). *Analysis of Genetic Diversity of vetiver and future selections for use in erosion control*. Plant Biotechnology Center Baylor University, P.O. Box 669 Gruver, TX 79040, USA. DNA.
- Aguilar, J; González, P. (1998). *Utilización agrícola de compost de residuos sólidos urbanos en cultivos leñosos de la provincia de Córdoba*. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca. España.
- Akhila, A; Rani, M. 2002. Chemical constituents and essential oil biogenesis in *Vetiveria zizanioides*. In: Maffei, M. ed. *Vetiveria*. Taylor and Francis, London.
- Alegre, J. (2007). *Manual sobre el uso y manejo del pasto vetiver (Chrysopogon zizanioides)*. Organización Panamericana de la Salud.
- Alfaro Mori, P.J. (2004). Evaluación de factores edáficos que determinan la bioacumulación de plomo (Pb) en rye grass anual (*Lolium multiflorum*) y rye grass perenne (*Lolium perenne* L.).
- Andrade-Couce, M; Mateos, A.; Guitian, F. 1985. An, de Edaf. Y Agrobiol
- Arce, S.; Azuaje, J.; Hernández, A.; Marcó, L.; Sajo, L. (2016). *Uso de Chrysopogon zizanioides para la fitorremediación de suelos contaminados por As y Hg*. Recuperado el 03 de febrero de 2019. Disponible en:

[http://www.vetiver.org/LAICV2F/2%20Environmental%20Protection/E4Sandra\\_TS.pdf](http://www.vetiver.org/LAICV2F/2%20Environmental%20Protection/E4Sandra_TS.pdf)

- Banco Mundial. (1995). Vetiver: la barrera contra la erosión. 3ra Ed. División de operaciones de Agricultura Departamento técnico, Oficina regional de Asia
- Bellido, J. 2018. Niveles de plomo en los suelos de la urbanización primavera, distrito de El Agustino. Tesis para obtener el título profesional de ingeniero ambiental. Universidad Nacional Federico Villarreal. p 235.
- Castillo, Y. (2010). Evaluación química toxicológica de plomo en suelo de Lima Metropolitana. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
- Cederstav, A. y Barandiarán, A. (2002). La Oroya no espera. Ed. Chirinos, C.; Lu, M. Ed. 1. Lima, Perú. 131.
- Córdova, K. (2010). Aplicación de enmiendas orgánicas con distinta relación c/n a relaves mineros: implicancias en el crecimiento de acacia caven (mol.) Y en la actividad microbiana. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento de Silvicultura.
- Cori, K. (2016). Capacidad del Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) para la fitorremediación de suelos con plomo contaminado por relaves mineros; nivel de laboratorio, 2016. Tesis para obtener el título profesional de ingeniera ambiental. Universidad César Vallejo. 84 p.
- Chávez, L. (2014). Fitorremediación con especies nativas en suelos contaminados por plomo. Tesis para optar el título de ingeniero ambiental. Universidad Nacional Agraria La Molina. p 114.
- Detrinidad, R. y Carballo, R. (2003). Efecto del tiempo de inmersión en agua en el desarrollo radical y foliar de la gramínea vetiver (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash). Tesis de pregrado. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.

- Díaz, W. (2016). Estrategia de gestión integrada de suelos contaminados en el Perú. Revista del Instituto De Investigación, FIGMMG-UNMSM. Vol. 19, Nº 38, pp. 103 - 110
- Espinoza VG. (2000). Tolerancia a la Toxicidad de Zn, Cu y Pb en plantas silvestres asociadas a suelos contaminados por la actividad minera. Tesis. Lima. Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Fernández, A. (1999). Especiación química y física de metales en la materia particulada atmosférica: aplicación al estudio de la contaminación ambiental de la ciudad de Sevilla. Universidad de Sevilla Fundación Focus- Abengoa.
- Galán, E. y Romero, A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. Conferencia invitada Macia. pp 48 - 60
- Jara, E.; Gómez, J.; Montoya, H.; Chanco, M.; Mariano, M.; Cano, N. (2014). Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. Revista peruana de biología 21(2): pp 145 – 154.
- Mays, N. (2018). Reducción de la erosión hídrica del suelo, con la utilización de la *Vetiveria zizanoides* en la Microcuenca de Tingoragra – Nauyan Rondos, Provincia de Huánuco 2017. Tesis para obtener el título profesional de ingeniera ambiental. Universidad de Huánuco. 125 p.
- Morquehuana, N. y Valverde, C. (2012). Evaluación del nivel de contaminación de los suelos en el distrito “El Mantaro” Provincia de Jauja. Tesis de pregrado. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Junín
- Munive, R. (2018). Recuperación de suelos degradados por contaminación con metales pesados en el Valle del Mantaro mediante compost de stevia y fitorremediación. Tesis de Doctoris Philosophiae. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

- National Research Council. (1993). *Vetiveria*. USA,
- Orihuela J. (2011). Síntesis de los estudios de investigación y desarrollo con la especie *Vetiveria zizanioides* (VETIVERIA), San Alejandro Pucallpa, Perú.
- Silva, S. y Correa, F. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de la regulación económica. *Semestre Económico*, vol. 12, núm. 23, enero-junio. pp. 13-34
- Rubio, C.; Gutiérrez, A.J.; Martín Izquierdo, R.E; Revert, C.; Lozano, G.; Hardisson, A. (2004). El plomo como contaminante alimentario. *Revista de Toxicología*, vol. 21, núm. 2-3, España. pp. 72-80.
- Rotkittikhun, P.; Chaiyarat, R.; Kruatrachue, M.; Pokethitiyook, P.; Baker, A. (2006). Growth and lead accumulation by the grasses *Vetiveria zizanioides* and *Thysanolaena maxima* in lead-contaminated soil amended with pig manure and fertilizer: A glasshouse study. *Chemosphere*. 66(1): pp 45-53
- Vargas, C.; Pérez, J.; Masaguer, A.; Moliner, A. (2013). Comportamiento de la vetiveria (*Chrysopogon zizanioides* L. Roberty) como extractora de metales pesados en suelos contaminados. VII Congreso Iberico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas. 20 – 23 de agosto. Madrid. 7 p.
- Truong, P. (1999). A tool Against Environmental Degradation and Desertification in Iberia. *Vetiver Grass Technologie*. Turner, 1969
- Truong, P.N. (2001). Aplicaciones del Vetiver para la fitoremediación de la contaminación con mercurio.
- USDA (2015). Vetiver para controlar la erosión del suelo y mantener o mejorar la calidad de las aguas. Hoja divulgativa. Recuperado de: [https://www.nrcs.usda.gov/wps/PA\\_NRCSCConsumption/download?cid=nrcseprd412271&ext=pdf](https://www.nrcs.usda.gov/wps/PA_NRCSCConsumption/download?cid=nrcseprd412271&ext=pdf)

## **ANEXOS**

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

**TITULO:** “RECUPERACIÓN DE SUELO CONTAMIDO POR PLOMO CON VETIVERIA (*Chrysopogon zizanioides*) BAJO CONDICIONES DE VIVERO EN LA ESPERANZA – AMARILIS – HUÁNUCO, ABRIL – JUNIO 2019”

**TESISTA:** ROGER MIGUEL DAVILA RUIZ

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENCIONES	METODOLOGIA
<p><b>Problema general</b> ¿Cómo será la recuperación de suelos contaminados por plomo con vetiveria (<i>Chrysopogon zizanioides</i>) en condiciones de vivero en La Esperanza – Amarilis – Huánuco, Abril – Junio 2019?</p> <p><b>Problemas específicos</b> ¿Cuál es la densidad de plantas de vetiveria que tiene influencia en la concentración residual de plomo del suelo contaminado? ¿Cuál es la densidad de plantas de vetiveria en el número de macollos por planta que tiene influencia en la recuperación de suelos contaminados por plomo? ¿Cuál es la densidad de plantas de vetiveria en el número de hojas por planta que tiene influencia en la recuperación de suelos contaminados por plomo? ¿Cuál es la densidad de plantas de vetiveria en la longitud de macollos por planta que tiene influencia en la recuperación de suelos contaminados por plomo?</p>	<p><b>Objetivo general</b> Determinar la recuperación de suelos contaminados por plomo con vetiveria (<i>Chrysopogon zizanioides</i>) en condiciones de vivero en La Esperanza – Amarilis – Huánuco, Abril – Junio 2019.</p> <p><b>Objetivo específico</b> Determinar la densidad de plantas de vetiveria que tiene influencia en la concentración residual de plomo del suelo contaminado Establecer la densidad de plantas de vetiveria en el número de macollos por planta que tiene influencia en la recuperación de suelos contaminados por plomo Determinar la densidad de plantas de vetiveria en el número de hojas por planta que tiene influencia en la recuperación de suelos contaminados por plomo Establecer la densidad de plantas de vetiveria en la longitud de macollos por planta que tiene influencia en la recuperación de suelos contaminados por plomo. Determinar la densidad de plantas de vetiveria en la longitud de hojas por planta que tiene influencia en la recuperación de suelos contaminados por plomo</p>	<p><b>HIPOTESIS GENERAL</b> <b>Ho:</b> El uso de vetiveria no muestra efecto significativo en la recuperación de suelos contaminados por plomo <b>Ha:</b> El uso de vetiveria muestra efecto significativo en la recuperación de suelos contaminados por plomo.</p> <p><b>HIPOTESIS ESPECIFICA</b> <b>Hipótesis específico 1</b> <b>Ho:</b> Las densidades de siembra de vetiveria no tienen influencia en la recuperación del suelo contaminado por plomo. <b>Ha:</b> Las densidades de siembra de vetiveria tienen influencia en la recuperación del suelo contaminado por plomo. <b>Hipótesis específico 2</b> <b>Ho:</b> Las densidades de siembra de vetiveria no tienen influencia en el número de macollos por planta para la recuperación de suelos contaminados por plomo <b>Ha:</b> Las densidades de siembra de vetiveria tienen influencia en el número de macollos por planta para la recuperación de suelos contaminados por plomo <b>Hipótesis específico 3</b> <b>Ho:</b> Las densidades de siembra de vetiveria no tienen influencia en el número de hojas por planta para la recuperación de suelos contaminados por plomo <b>Ha:</b> Las densidades de siembra de vetiveria tienen influencia en el número de hojas por planta</p>	<p><b>Variable Independiente</b> Vetiveria</p> <p><b>Variable Dependiente</b> Recuperación de suelos contaminado por plomo.</p>	<p>Densidad de siembra</p> <p>Concentración residual de plomo</p> <p>Biomasa área de vetiveria</p>	<p>El trabajo de investigación es de tipo Aplicada, porque se recurrirá a los conocimientos científicos existentes sobre las propiedades de la vetiveria en la recuperación de suelos contaminados El enfoque de la investigación cuantitativo, ya que plantea un problema delimitado y concreto del que se recolectará datos numéricos del fenómeno. El estudio tiene un alcance explicativo - correlacional, por lo que se pretenderá es establecer la manera como vetiveria recupera suelos contaminados por plomo y la relación que existe entre ellos. El diseño del trabajo de investigación es experimental, porque se manipulará la variable independiente (vetiveria), midiendo la respuesta en una variable dependiente (recuperación de suelos contaminados por plomo) y se comparará con un testigo.</p> <div style="text-align: center;"> <p>Dónde:</p> <p>N: número de muestras X1: variable dependiente X2: variable independiente R: relación de variables</p> </div>



<p>- ¿Cuál es la densidad de plantas de vetiveria en la longitud de hojas por planta que tiene influencia en la recuperación de suelos contaminados por plomo?</p>		<p>para la recuperación de suelos contaminados por plomo</p> <p><b>Hipótesis específico 4</b>  <b>Ho:</b> Las densidades de siembra de vetiveria no tienen influencia en la longitud de macollos por planta para la recuperación de suelos contaminados por plomo  <b>Ha:</b> Las densidades de siembra de vetiveria tienen influencia en la longitud de macollos por planta para la recuperación de suelos contaminados por plomo</p> <p><b>Hipótesis específico 5</b>  <b>Ho:</b> Las densidades de siembra de vetiveria no tienen influencia en la longitud de hojas por planta para la recuperación de suelos contaminados por plomo  <b>Ha:</b> Las densidades de siembra de vetiveria tienen influencia en la longitud de hojas por planta para la recuperación de suelos contaminados por plomo</p>			
--	--	--	--	--	--

**ANEXO 2.** Promedios de la concentración final de plomo

<b>REPETICION</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
1	148.68	192.68	165.23
2	137.07	195.14	187.70
3	131.22	172.60	139.48
4	254.92	151.29	232.25
5	319.06	155.55	150.55
<b>PROM</b>	198.19	173.45	175.04
<b>TOTAL</b>	990.95	867.26	875.21

**ANEXO 3.** Promedios de la concentración residual de plomo

<b>REPETICION</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
1	17.88	61.88	34.43
2	6.27	64.34	56.90
3	0.42	41.80	8.68
4	124.12	20.49	101.45
5	188.26	24.75	19.75
<b>PROM</b>	67.39	42.65	44.24
<b>TOTAL</b>	336.95	213.26	221.21

**ANEXO 4.** Promedios de número de macollos por planta en el mes de septiembre

<b>REPETICION</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
1	1.00	2.00	2.20
2	2.00	1.67	2.50
3	1.00	2.50	2.00
4	1.33	1.60	2.75
5	1.00	1.75	1.60
<b>PROM</b>	1.27	1.90	2.21
<b>TOTAL</b>	6.33	9.52	11.05

**ANEXO 5.** Promedios de número de hojas por planta en el mes de septiembre

<b>REPETICION</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
1	1.67	2.14	2.40
2	1.40	2.40	2.25
3	1.50	2.40	3.67
4	2.17	1.80	2.50
5	2.00	2.17	2.50
<b>PROM</b>	1.75	2.18	2.66
<b>TOTAL</b>	8.73	10.91	13.32

**ANEXO 6.** Promedios de longitud de macollos por planta en el mes de septiembre

<b>REPETICION</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
1	10.40	13.33	10.33
2	13.29	12.50	11.50
3	13.00	13.50	14.60
4	11.25	12.00	15.25
5	11.00	13.50	14.20
<b>PROM</b>	11.79	12.97	13.18
<b>TOTAL</b>	58.94	64.83	65.88

**ANEXO 7.** Promedios de longitud de hojas por planta en el mes de septiembre

<b>REPETICION</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
1	17.40	24.80	22.50
2	19.75	22.67	21.20
3	19.80	22.80	29.83
4	22.00	24.80	27.00
5	24.29	20.43	27.75
<b>PROM</b>	20.65	23.10	25.66
<b>TOTAL</b>	103.24	115.50	128.28

**ANEXO 8.** Promedios de número de macollos por planta en el mes de octubre

<b>REPETICION</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
1	1.83	1.50	2.20
2	1.75	1.60	1.38
3	1.57	1.80	1.89
4	1.86	1.83	2.60
5	1.40	1.86	1.90
<b>PROM</b>	1.68	1.72	1.99
<b>TOTAL</b>	8.41	8.59	9.96

**ANEXO 9.** Promedios de número de hojas por planta en el mes de octubre

<b>REPETICION</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
1	4.40	5.50	5.17
2	5.00	5.50	4.80
3	5.00	6.00	6.75
4	6.00	4.33	4.75
5	5.75	5.00	5.25
<b>PROM</b>	5.23	5.27	5.34
<b>TOTAL</b>	26.15	26.33	26.72

**ANEXO 10.** Promedios de longitud de macollos por planta en el mes de octubre

<b>REPETICION</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
1	18.80	26.17	21.50
2	22.00	19.25	18.75
3	18.20	17.67	22.50
4	28.25	20.75	23.80
5	22.75	27.00	25.00
<b>PROM</b>	22.00	22.17	22.31
<b>TOTAL</b>	110.00	110.83	111.55

**ANEXO 11.** Promedios de longitud de hojas por planta en el mes de octubre

<b>REPETICION</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
1	43.67	42.33	39.00
2	44.00	49.67	34.33
3	34.33	35.00	51.00
4	45.33	39.00	40.40
5	41.75	34.50	41.00
<b>PROM</b>	41.82	40.10	41.15
<b>TOTAL</b>	209.08	200.50	205.73

**ANEXO 12.** Prueba de normalidad de cada variable

<b>Variable</b>	<b>Media</b>	<b>D.E.</b>	<b>W*</b>	<b>P (Unilateral D)</b>	
Concentración residual de plomo	51.43	51.73	0.84	<b>0.015</b>	
Septiembre	Número de macollos	1.79	0.56	0.91	0.2833
	Número de hojas	2.2	0.54	0.9	0.2130
	Longitud de macollos	12.64	1.52	0.93	0.4724
	Longitud de hojas	23.13	3.34	0.97	0.8838
Octubre	Número de macollos	1.8	0.31	0.9	0.2051
	Número de hojas	5.28	0.65	0.95	0.7013
	Longitud de macollos	22.16	3.35	0.92	0.3154
	Longitud de hojas	41.02	5.26	0.9	0.2340

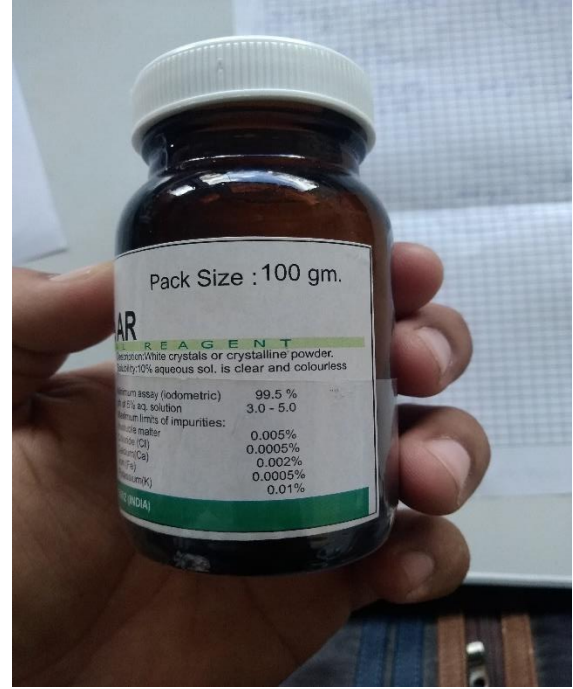
**ANEXO 13.** Panel fotográfico de las actividades de la investigación



**Figura 1.** Acondicionamiento del vivero para la instalación del experimento.



**Figura 2.** Preparación del sustrato para el ensayo.



**Figura 3.** Preparación medio contaminante (nitrato de plomo) para la inoculación al suelo.



**Figura 4.** Esquejes de vetiveria para el ensayo.



**Figura 5.** Instalación de los esquejes de vetiveria en las macetas.



**Figura 6.** Visita del asesor de tesis al ensayo.





**Figura 7.** Desterronado del suelo contaminado para la extracción de muestras y análisis del plomo.



**Figura 8.** Disposición de muestras del suelo contaminado para el análisis de la concentración residual del plomo.

**ANEXO 13.** Análisis de plomo en el suelo contaminado después de la inoculación

---



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



**INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO**

SOLICITANTE : ROGER MIGUEL DAVILA RUIZ  
PROCEDENCIA : HUANUCO/ HUANUCO/ AMARILIS  
REFERENCIA : H.R. 68567  
BOLETA : 3038  
FECHA : 07/06/2019

Número Muestra		N	Pb	P	K
Lab	Claves	%	ppm	ppm	ppm
1760		0.17	130.8	70.3	444



*Sady García Bendezu*  
Sady García Bendezu  
Jefe del Laboratorio

## ANEXO 14. Análisis de plomo en el suelo contaminado al finalizar el ensayo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



### INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

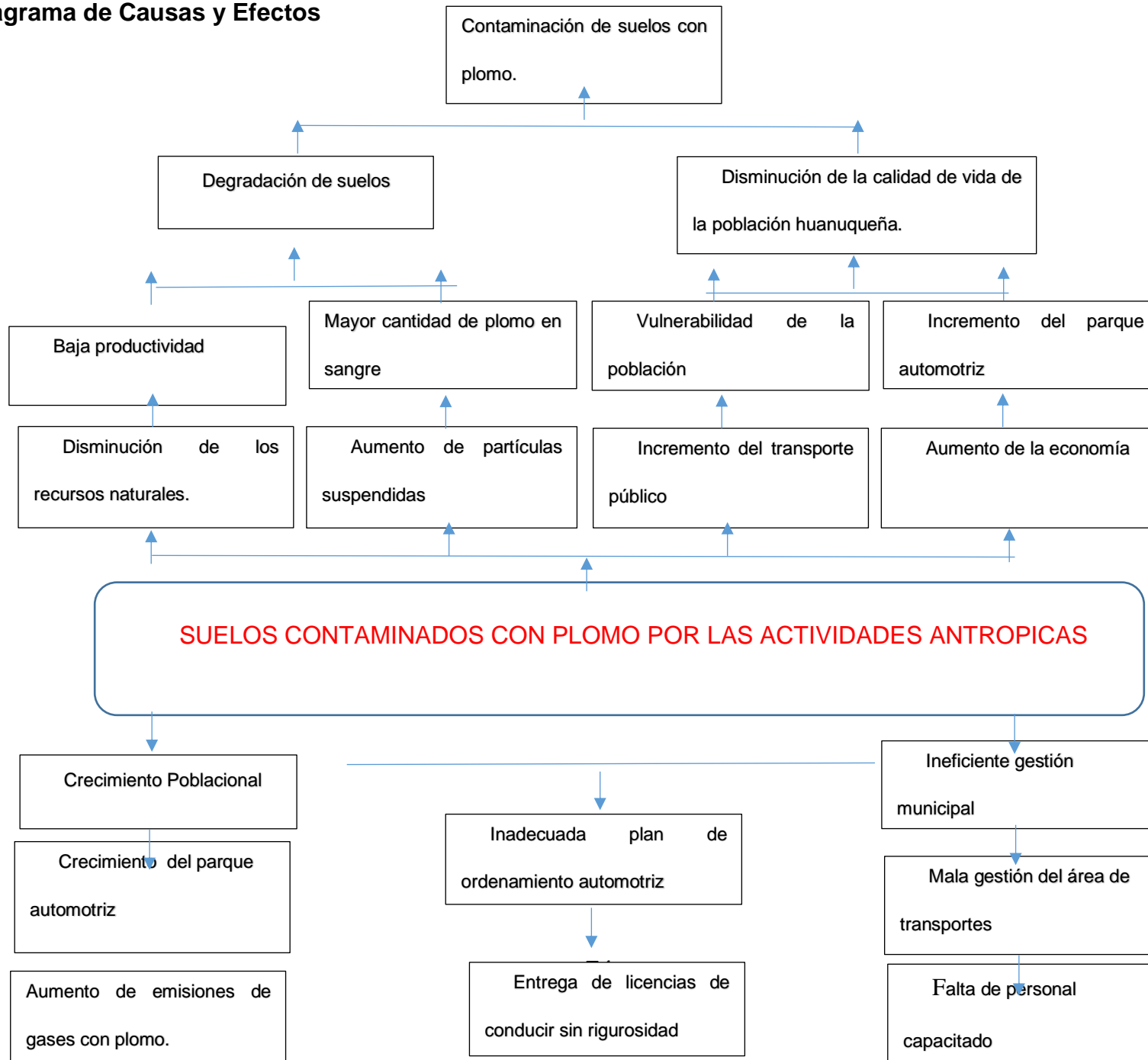
SOLICITANTE : ROGER MIGUEL DÁVILA RUÍZ  
PROCEDENCIA : HUÁNUCO/ HUÁNUCO/ AMARILIS/ LA ESPERANZA  
REFERENCIA : H.R. 70653  
BOLETA : 3699  
FECHA : 12/11/2019

Lab	Número Muestra	Pb ppm
	Claves	
4879	Muestra N°1	148.68
4880	Muestra N°2	137.07
4881	Muestra N°3	131.22
4882	Muestra N°4	254.92
4883	Muestra N°5	319.06
4884	Muestra N°6	192.68
4885	Muestra N°7	195.14
4886	Muestra N°8	172.60
4887	Muestra N°9	151.29
4888	Muestra N°10	155.55
4889	Muestra N°11	165.23
4890	Muestra N°12	187.70
4891	Muestra N°13	139.48
4892	Muestra N°14	232.25
4893	Muestra N°15	150.55

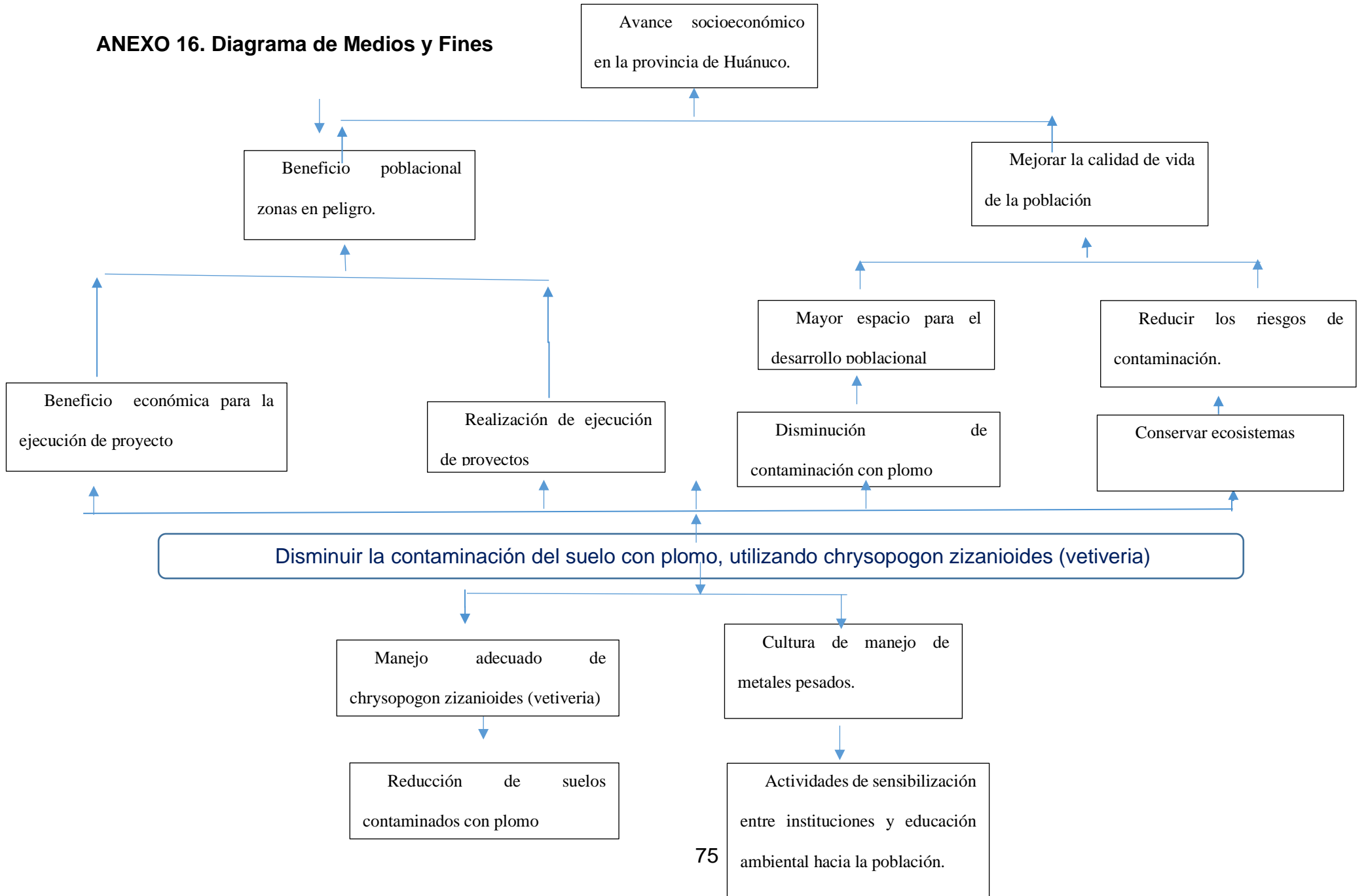
  
Ing. Braulio La Torre Martínez  
Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

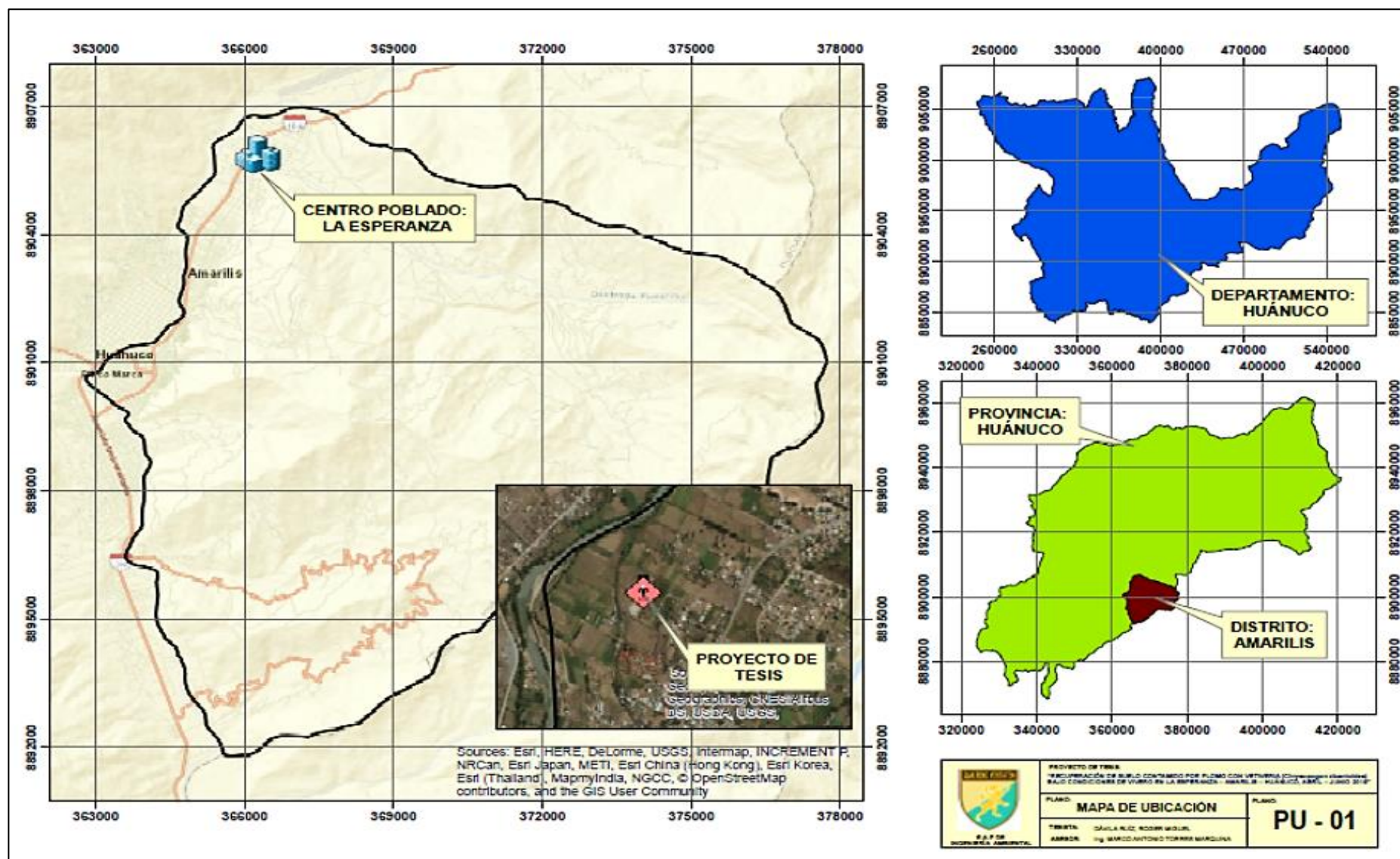
## ANEXO 15. Diagrama de Causas y Efectos



**ANEXO 16. Diagrama de Medios y Fines**



# ANEXO 17, Mapa de ubicación del estudio



## **ANEXO 18.** Protocolo de análisis de suelo contaminado por plomo

### **EAA de llama aire – acetileno por aspiración directa**

#### **Equipos y materiales especiales**

Espectrofotómetro de absorción atómica con los siguientes parámetros generales: Lámpara de plomo

Longitud de onda: 283,3 nm

Combustible: acetileno, Oxidante: aire

Corrección de fondo: se requiere.

#### **Reactivos**

Durante el análisis, usar solamente reactivos para análisis de trazas y agua reactivo Tipo I de ASTM D1193 (1999) o Grado 1 de ISO 3696 (1987) (CE máxima 0,06 – 0,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (0,006 – 0,01  $\text{mS}/\text{m}$ )).

Ácido nítrico,  $\text{HNO}_3$ , 100%,  $d=1,52 \text{ kg}/\text{L}$ .

Solución estándar de plomo de 1000 mg/L de Pb. Disponible en el comercio

Solución estándar de plomo de 100 mg/L de Pb.

A un matraz aforado de 100 mL agregar:

- 10 mL de la solución estándar de 1000 mg/L de Pb (4.2)
- 10 mL de ácido nítrico 100% (4.1)
- agua hasta enrasar.

Serie de estándares de plomo.

A seis matraces aforados de 100 mL agregar:

- 0-1-2-5-10-20 mL de la solución estándar de 100 mg/L de Pb (4.3),
- 10 mL de ácido nítrico 100% (5.1),
- Agua hasta enrasar.

Esta serie de estándares contiene: 0-1-2-5-10-20 mg/L de Pb.

#### **Procedimiento**

- Seleccionar las condiciones de operación según las instrucciones del fabricante del espectrofotómetro (3.1). Usar corrección de fondo.
- Calibrar a 283,3 nm con la serie de estándares de plomo (4.4).
- Leer la concentración de plomo en los digeridos provenientes del Método 7.1, punto 4.10, o del Método 7.2, punto 4.12. Estos digeridos incluyen los de las muestras, del blanco, de la muestra de referencia fortificada, de una de las muestras fortificada y del duplicado de esta muestra fortificada.
- Nota 1 Si la concentración en los digeridos es mayor que la de la solución estándar más alta, diluir manteniendo una concentración de ácido nítrico de 10% y reanalizar.