

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Capacidad de acumulación de bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y bambú verde (*Guadua angustifolia*) como estrategia de fitorremediación en suelos con bajas concentraciones de metales pesados en el botadero del sector Quimpitiriqui, departamento de Ayacucho**

Edme Lisbeth Matos Medina  
Diana Elizabeth Torres Congachi

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental

Ayacucho, 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** : Jose Vladimir Cornejo Tueros  
Asesor de trabajo de investigación  
**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación  
**FECHA** : 1 de noviembre de 2024

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

**Título:**

“Capacidad de acumulación de bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y bambú verde (*Guadua angustifolia*) como estrategia de fitorremediación en suelos con bajas concentraciones de metales pesados en el botadero del sector Quimpitiriqui, departamento de Ayacucho”.

**Autores:**

1. EDME LISBETH MATOS MEDINA – EAP. Ingeniería Ambiental
2. DIANA ELIZABETH TORRES CONGACHI – 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 10% 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 SI  NO   
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir “SI”**):
- 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**

A Jesús Nazareno, por llenar nuestras vidas de bendiciones y guiarnos con su luz en cada paso de nuestro camino. A nuestras familias, por su constante apoyo y amor en cada proceso de nuestras vidas. Y, por último, pero no menos importante, a nosotras mismas, por nuestra fuerza y perseverancia.

Las autoras.

A nuestros queridos padres por  
su amor incondicional.

## ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DEL ASESOR .....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
ÍNDICE GENERAL .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	xiv
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	16
1.1 Planteamiento y formulación del problema .....	16
1.1.1 Planteamiento del problema .....	16
1.1.2 Formulación del problema .....	17
1.2 Objetivos .....	18
1.2.1 General.....	18
1.2.2 Específicos .....	18
1.3 Justificación e importancia .....	19
1.3.1 Ambiental.....	21
1.3.2 Social.....	22
1.4 Hipótesis y descripción variables .....	25
1.4.1 Hipótesis.....	25
1.4.2 Descripción de variables.....	26
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	26
1.5 Antecedentes del problema.....	26
1.5.1 Antecedentes internacionales.....	26

1.5.2	Antecedentes nacionales.....	28
1.6	Bases teóricas.....	33
1.6.1	Fitorremediación.....	33
1.6.2	Metales pesados.....	37
1.6.3	Bambúes.....	38
1.6.4	El suelo y su calidad.....	39
1.7	Definición de términos básicos.....	40
1.7.1	Acumulación.....	40
1.7.2	Fitorremediación.....	40
1.7.3	Bambú.....	41
1.7.4	Metales pesados.....	41
1.7.5	Suelo.....	41
1.7.6	Suelo contaminado.....	41
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....		41
1.8	Método, y alcance de la investigación.....	41
1.8.1	Método de la investigación.....	41
1.8.2	Alcance de la investigación.....	42
1.9	Diseño de la investigación.....	43
1.10	Población y muestra.....	43
1.10.1	Población.....	43
1.10.2	Muestra.....	43
1.11	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	44
1.11.1	Técnicas.....	44
1.11.2	Instrumentos.....	44
1.12	Metodología de experimentación.....	45
1.12.1	Secuencia de la investigación.....	45
1.12.2	Materiales utilizados para el muestreo de suelos.....	46

1.12.3	Recolección de muestra para el muestreo de suelos .....	46
1.12.4	En el laboratorio (análisis de caracterización del suelo inicial y análisis físico de suelo) .....	48
1.12.5	Implementación del experimento .....	48
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		53
1.13	Previo al proceso de fitorremediación de suelo con concentraciones bajas de metales pesados .....	53
1.13.1	Análisis del suelo .....	53
1.14	Durante el proceso de fitorremediación de suelo con bajas concentraciones de metales pesados.....	54
1.14.1	Determinación de la concentración de metales pesados antes y después de la fitorremediación .....	54
1.14.2	Influencia de la capacidad de acumulación de los bambúes en los parámetros físico - químico del suelo con bajas concentraciones de metales pesados.....	56
1.14.3	Determinación de las características morfológicas del bambú amarillo ( <i>Bambusa vulgaris</i> ) y el bambú verde ( <i>Guadua angustifolia</i> ) .....	57
1.14.4	Determinación de la concentración de plomo y cadmio en la biomasa radicular y área del bambú amarillo ( <i>Bambusa vulgaris</i> ) y el bambú verde ( <i>Guadua angustifolia</i> ) .....	60
1.15	Discusión de resultados .....	63
CONCLUSIONES.....		64
RECOMENDACIONES .....		66
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....		67
ANEXOS .....		71

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Niveles adecuados en tejido vegetal de micronutrientes requeridos. ....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 2. Materiales para el muestreo de suelos.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 3. Especificaciones de la cantidad de muestra de suelo inicial.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 4. Resultados del análisis físico químico del suelo.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 5. Resultados de la concentración de metales pesados antes y después de la fitorremediación.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 6. Resultados de la eficiencia de remediación de los metales pesados para cada tratamiento evaluado al final del proceso de remediación. ....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 7. Resultado final del análisis físico químico del suelo correspondiente a los tratamientos 1 y 2 (T1 y T2) luego del proceso de remediación.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 8. Indicadores de las características morfológicas de las plantas de bambú a los 30 días de la instalación de la investigación para los tratamientos T1 y T2.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 9. Indicadores de las características morfológicas de las plantas de bambú a los 60 días de la instalación de la investigación para los tratamientos T1 y T2.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 10. Indicadores de las características morfológicas de las plantas de bambú a los 90 días de la instalación de la investigación para los tratamientos T1 y T2.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 11. Resumen de los indicadores de las características morfológicas de las plantas de bambú a los 30,60 y 90 días de la instalación de la investigación para los tratamientos T1 y T2.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 12. Resultados de concentración de Plomo (Pb) y Cadmio (Cd) en la biomasa radicular y área de los bambúes.....</i>	<i>60</i>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Concentración de iones solubles vs. pH. ....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 2. Variación en la concentración de metales en suelos .....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 3. Ubicación del lugar a tomar la muestra de suelo .....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 4. Instalación de bambú amarillo (Bambusa vulgaris) en la maceta .....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 5. Instalación de bambú amarillo (Bambusa vulgaris) en la maceta .....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 6. Instalación de bambú verde (Guadua angustifolia) en la maceta.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 7. Plantas de bambú verde (Guadua angustifolia) instaladas.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 8. Primera medición de las características morfológicas (altura, grosor, cantidad de hojas).....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 9. Segunda medición de las características morfológicas (altura, grosor, cantidad de hojas) .....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 10. Tercera medición de las características morfológicas (altura, grosor, cantidad de hojas) .....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 11. Evolución de las características morfológicas de las plantas de bambú durante el proceso de remediación para los tratamientos T1 y T2. ....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 12. Concentración de Plomo (Pb) y Cadmio (Cd) en la biomasa radicular y área del Bambú verde (Guadua angustifolia).....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 13. Concentración de Plomo (Pb) y Cadmio (Cd) en la biomasa radicular y área del Bambú amarillo (Bambusa vulgaris).....</i>	<i>63</i>

## RESUMEN

Dada la creciente necesidad de abordar los problemas de contaminación del suelo y ante los desafíos cada vez mayores relacionados con la degradación ambiental, este trabajo de investigación aborda la fitorremediación como estrategia para remediar suelos con bajas concentraciones de metales pesados, utilizando las características morfológicas del bambú *Bambusa vulgaris* (bambú amarillo) y *Guadua angustifolia* (bambú verde) en el botadero de Quimpintiriqui, distrito de Sivia, Huanta, Ayacucho. Los objetivos fueron; comparar la capacidad de acumulación de ambos bambúes en sus concentraciones (inicial y final) en el suelo con bajas concentraciones de metales pesados, analizar la influencia de la capacidad de acumulación de ambos bambúes en los parámetros fisicoquímicos del suelo con bajas concentraciones de metales pesados, determinar las características morfológicas de ambos bambúes y determinar los resultados de la remoción de metales pesados en la biomasa radicular y aérea de ambos bambúes. La investigación se basó en un enfoque metodológico experimental, en efecto, como resultados, se observó que el suelo utilizado en la investigación (previo al proceso de fitorremediación) presenta una concentración de 0.03 ppm de (Pb) total y 0.01 ppm (Cd), mientras que, durante el proceso de fitorremediación se observó una concentración final en dos muestras; muestra N°01 bambú verde (*Guadua angustifolia*), concentración final de 0.005 ppm de (Pb) y 0.004 ppm de (Cd), y en la muestra N°02 con la planta de bambú Amarillo (*Bambusa vulgaris*) se alcanzó una concentración de 0.004 ppm de (Pb) y 0.003 ppm de (Cd). Para la influencia de capacidad se analizó un análisis de suelo al final del proceso de remediación para los dos tratamientos (**T1** Suelo contaminado con Pb + Cd + Bambú verde (*Guadua angustifolia*) y **T2** Suelo contaminado con Pb + Cd + Bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*)), la M.O. en el T1 se disminuyó en relación al valor inicial de 1,26 % a 1,22 %, y en el T2 se incrementó en relación al valor inicial de 1,26 % a 1,39 % ; el pH en el T1 aumentó en relación al valor inicial de 8.51 a 8.54, y en el T2 disminuyó en relación al valor inicial de 8.51 a 8.50; la conductividad eléctrica en el T1 se disminuyó en relación al valor inicial de 0.74 (dS/m.) a 0,54 (dS/m.), y en el T2 también disminuyó en relación al valor inicial de 0.74 (dS/m.) a 0.59 (dS/m.); asimismo los niveles de N, P y K mejoraron en relación al nivel inicial en el suelo.

## ABSTRACT

Given the growing need to address soil contamination problems and the increasing challenges related to environmental degradation, for this research work we obtained the phytoremediation technique in soils degraded by heavy metals through the morphological characteristics of the bamboo species *Bambusa Vulgaris* (yellow bamboo) and *Guadua Angustifolia* (green bamboo) in the dump called Sector Quimpintiriqui, Sivia district, Huanta province, Ayacucho department. The objectives were; compare the accumulation capacity of both bamboos in their concentrations (initial and final) in the degraded soil with heavy metals, analyze the influence of the accumulation capacity of both bamboos on the physicochemical parameters of the degraded soil, determine the morphological characteristics of both bamboos and determine the results of the removal of heavy metals in the root and aerial biomass of both bamboos. The research was based on an experimental methodological approach, in fact, as results, it was observed that the soil used in the research (prior to the phytoremediation process) presents a concentration of 0.03 ppm of total (Pb) and 0.01 ppm (Cd), while, during the phytoremediation process, a final concentration was observed in two samples; sample N°01 green bamboo (*Guadua angustifolia*), final concentration of 0.005 ppm of (Pb) and 0.004 ppm of (Cd), and in sample N°02 with the Yellow bamboo plant (*Bambusa vulgaris*) a concentration of 0.004 ppm of (Pb) and 0.003 ppm of (Cd). For the influence of capacity, a soil analysis was analyzed at the end of the remediation process for the two treatments (T1 Soil contaminated with Pb + Cd + Green bamboo (*Guadua angustifolia*) and T2 Soil contaminated with Pb + Cd + Yellow bamboo (*Bambusa vulgaris*)), the M.O. in T1 it decreased in relation to the initial value from 1.26% to 1.22%, and in T2 it increased in relation to the initial value from 1.26% to 1.39%; The pH in T1 increased in relation to the initial value from 8.51 to 8.54, and in T2 it decreased in relation to the initial value from 8.51 to 8.50; The electrical conductivity in T1 decreased in relation to the initial value of 0.74 (dS/m.) to 0.54 (dS/m.), and in T2 it also decreased in relation to the initial value of 0.74 (dS/m. ) to 0.59 (dS/m.); Likewise, the levels of N, P and K improved in relation to the initial level in the soil.

## INTRODUCCIÓN

La descomposición de los residuos sólidos tratados en rellenos sanitarios produce lixiviados o líquidos lixiviados similares al agua doméstica, pero con mayores concentraciones de contaminantes. Los lixiviados se producen en un alto o alto porcentaje en los vertederos, y actualmente se utilizan diferentes métodos o formas de evacuación, tales como: aspersión a cielo abierto, tratamiento de lagunas oxidativas, etc.

Los residuos domésticos y los residuos sólidos peligrosos tienen un impacto negativo en el medio ambiente debido a su mala gestión, amenazando con problemas ambientales en las zonas urbanas y rurales, especialmente en las zonas urbanas industrializadas, amenazando la sustentabilidad alrededor. Por ello, se debe prestar especial atención al manejo de los residuos sólidos que generamos en el hogar o en los lugares de trabajo y estudio. Sin embargo, para comprender mejor el tema, primero definamos qué es un residuo sólido: Un residuo sólido es una sustancia, producto o subproducto sólido o semisólido que un productor rechaza o está obligado a rechazar.

Los botaderos no solo son muy peligrosos para la naturaleza sino también para las poblaciones humanas, además producen contaminantes que degradan la atmósfera, el suelo, los cursos de agua y la vegetación, y reducen la fauna.

En los botaderos, los animales se reproducen y estos animales luego se convierten en portadores de bacterias y virus peligrosos que pueden afectar a las poblaciones vecinas. Las estadísticas muestran que las áreas más propensas a los brotes de enfermedades son las multitudes alrededor de los vertederos ilegales de desechos sólidos. Además, también existen empresas industriales que depositan residuos en estos vertederos. De esta forma, a la mencionada contaminación se le suman factores químicos muy peligrosos, posiblemente agravando la situación.

La fitorremediación emplea el uso de plantas para purificar y/o limpiar ambientes contaminados, igualmente es una estrategia estrechamente interesante, esto es debido a la capacidad que tienen algunas especies vegetales de absorber, acumular y tolerar altas concentraciones de contaminantes como; metales pesados, compuestos orgánicos y radioactivos. La fitorremediación tiene la

ventaja de que las plantas pueden usarse como bombas de bajo costo para purificar el suelo y el agua contaminados, además de resolver grandes problemas ambientales. Es el método adecuado para la descontaminación de grandes áreas o para la descontaminación a largo plazo de áreas restringidas. El bambú tiene un lugar en la gama de soluciones propuestas para depurar terrenos contaminados que incluso pueden llegar a contaminar las reservas de agua potable, e incluso juega un papel protagonista en esta materia, de hecho, los bosques de bambú ofrecen muchas ventajas para el tratamiento de aguas residuales a nivel de raíces y rizomas, los microorganismos mineralizan los contaminantes y eliminan la mayor parte del material.

El rendimiento del bosque de bambú acorta el ciclo de purificación, reduce o incluso evita los olores característicos de las áreas contaminadas orgánicamente, mientras se mezcla naturalmente con el paisaje. Los estudios han demostrado que el 99% de la materia orgánica y el 98% de los contaminantes se han eliminado del área tratada de la plantación de bambú. (1)

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

### **1.1 Planteamiento y formulación del problema**

#### **1.1.1 Planteamiento del problema**

Actualmente, uno de los problemas más preocupantes y frecuentes a nivel mundial, es la generación de residuos sólidos, los cuales pueden ser; urbanos, peligrosos y biológicos infecciosos. El inadecuado manejo y disposición final de dichos residuos son motivo de preocupación ambiental y de salud pública, ya que en el mejor de los casos son depositados en rellenos sanitarios, más adelante como (RS) regulados por la normativa ambiental, controlando así la generación de residuos. Por el contrario, si se ubican en vertederos abiertos que no están debidamente diseñados, causarán más contaminación debido a la falta de controles adecuados sobre los contaminantes producidos.

En el Botadero del Sector Quimpitiriqui del distrito de Sivia no se realiza la recuperación de áreas contaminadas por residuos sólidos, pues en su mayoría de las trincheras de tiempos anteriores fueron solamente enterradas con arena fina o material homogéneo de la zona, mas no se realiza alguna recuperación de suelos post uso como trinchera.

Tras analizar las concentraciones de cadmio y plomo en el suelo del botadero del Sector Quimpitiriqui del distrito de Sivia, descubrimos que estos niveles no superan los estándares de calidad ambiental establecidos (Ecas). Sin embargo, aunque los niveles de cadmio y plomo en el suelo son bajos, la capacidad de bioacumulación de estos metales mediante las plantas que van creciendo de manera natural como son las malas hiervas plantea un riesgo potencial. La bioacumulación se refiere a la capacidad de los organismos para acumular sustancias químicas y/o tóxicas en sus cuerpos a lo largo del tiempo. En este caso, las plantas y/o hiervas se están extrayendo y acumulando cadmio y plomo del suelo en sus tejidos.

Por lo que la entrada de estos metales pesados en la cadena trófica es una preocupación importante, ya que los herbívoros que consuman estas plantas, arbustos y/o hiervas que crezcan en el botadero pueden a su vez

acumular cadmio y plomo en sus cuerpos y pueden ser transferidos a los carnívoros (incluidos los humanos) que se alimentan de estos herbívoros. La exposición continua a niveles bajos de cadmio y plomo puede tener efectos tóxicos y perjudiciales para la salud humana, acumulándose en el cuerpo a lo largo del tiempo y causando diversas enfermedades.

Nuestro hallazgo sugiere que, aunque los suelos del área de estudio no presentan niveles peligrosos de metales pesados según los estándares ambientales, puede llegar a ser un riesgo significativo para la salud humana si no se manejan adecuadamente. Por lo que la fitorremediación utilizando las plantas de bambú puede ser efectiva para eliminar metales pesados del suelo en concentraciones bajas evitando así la exposición humana. Ya el bambú es una planta extraordinariamente versátil que juega un papel importante en la conservación del medio ambiente. Su capacidad para acumular metales pesados lo convierte en una herramienta útil para la fitorremediación de suelos contaminados, ayudando a limpiar áreas afectadas por la contaminación. Además, las raíces del bambú ayudan a prevenir la erosión del suelo, manteniendo la estabilidad del terreno y contribuyendo a la conservación del ecosistema.

## **1.1.2 Formulación del problema**

### **1.1.2.1 Problema general**

¿De qué manera la capacidad de acumulación del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*) influye, como estrategia de Fitorremediación de suelos, con bajas concentraciones de metales pesados, en el botadero del sector Quimpitiriqui?

### **1.1.2.2 Problema específico**

- ¿Cuánto será la diferencia de la capacidad de acumulación del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*) en la concentración inicial y final de metales pesados, en el suelo con concentraciones bajas?
- ¿Cuál será la influencia de la capacidad de acumulación del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*)

en los parámetros fisicoquímicos del suelo con bajas concentraciones de metales pesados?

- ¿En que varían las características morfológicas del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*) en la estrategia de Fitorremediación de suelos, con bajas concentraciones de metales pesados?
- ¿Cuál es el resultado de la remoción de metales pesados en la biomasa radicular y aérea del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*) para la estrategia de fitorremediación de suelos con bajas concentraciones de metales pesados en el botadero del sector Quimpitiriqui?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 General**

Determinar la capacidad de acumulación del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*) que influye en la estrategia de Fitorremediación de suelos, con bajas concentraciones de metales pesados en el botadero del sector Quimpitiriqui.

### **1.2.2 Específicos**

- Comparar la capacidad de acumulación del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*) en la concentración inicial y final de metales pesados en el suelo con concentraciones bajas de estos metales.
- Analizar la influencia de la capacidad de acumulación del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*) en los parámetros fisicoquímicos del suelo con concentraciones bajas de metales pesados.
- Determinar las características morfológicas del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*) en la estrategia de fitorremediación de suelos con concentraciones bajas de metales pesados.
- Determinar el resultado de la remoción de metales pesados en la biomasa radicular y aérea del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el

bambú verde (*Guadua angustifolia*) para la estrategia de fitorremediación de suelos con concentraciones bajas de metales pesados.

### **1.3 Justificación e importancia**

El mayor problema con los vertederos, o en su defecto botaderos, se presenta en aquellos que no cumplen con todo el proceso adecuado según la normativa ambiental, de igual forma son comunes en todo el país, para ello, la importancia de este trabajo de investigación es la capacidad de acumulación del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y bambú verde (*Guadua angustifolia*) como estrategia de fitorremediación en suelos con bajas concentraciones de metales pesados, no solo tiene una gran importancia ambiental al mejorar la calidad del suelo y contribuir a la mitigación del cambio climático, sino que también posee un impacto en aumentar la conciencia y participación comunitaria en la conservación del medio ambiente.

El botadero del sector Quimpitiriqui, distrito de Sivia presenta suelos con bajas concentraciones de metales pesados, por ello este estudio explora la capacidad de acumulación de metales pesados del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*) como una estrategia de fitorremediación.

La trinchera del botadero, actualmente cubierto o rellenado con capas de tierra, no se encuentra debidamente cercado, lo que genera consecuencias a través de la cadena trófica. Las poblaciones cercanas al área mantienen la crianza de animales menores, como aves (gallinas, patos, perdices) y porcinos (cerdos), así como animales mayores, como equinos (caballos, yeguas, mulas, burros) y bovinos (vacas, toros, vaquillas, terneros). Debido a la práctica del pastoreo y la crianza al aire libre, estos animales se alimentan de las hierbas que crecen en la zona contaminada del botadero.

A pesar de que las concentraciones de metales pesados en el suelo son bajas, las plantas de bambú demostraron una notable capacidad de acumular cadmio y plomo en sus tejidos. Este proceso de bioacumulación

es preocupante porque los metales pesados pueden entrar en la cadena trófica de la siguiente manera:

**Herbívoros:** Animales que consumen las plantas, hierbas que crecen en la zona contaminada del botadero pueden acumular estos metales en sus cuerpos.

**Carnívoros:** Los animales que se alimentan de los herbívoros contaminados también pueden acumular estos metales.

**Humanos:** Finalmente, los humanos que consumen animales afectados pueden verse expuestos a niveles más altos de cadmio y plomo, lo cual puede tener efectos tóxicos y perjudiciales para la salud, como problemas renales, óseos y neurológicos.

Aunque los niveles de metales pesados en el suelo puedan ser bajos y no superen los estándares de calidad ambiental, su capacidad para acumularse en los organismos y biomagnificarse en la cadena trófica puede representar un riesgo significativo para la salud humana y el medio ambiente. Por lo tanto, es importante monitorear y gestionar adecuadamente las concentraciones de metales pesados, incluso en niveles bajos, para prevenir efectos adversos a largo plazo.

Los bambúes mencionados, utilizados para la fitorremediación, no pueden considerarse aptos para otros tipos de actividades humanas, ya que estarían contaminados con los metales pesados absorbidos del suelo.

Definición de bioacumulación y biomagnificación:

- **Bioacumulación:** Proceso por el cual los organismos vivos, como plantas, acumulan sustancias tóxicas, como metales pesados, a partir del medio ambiente en sus tejidos.
- **Biomagnificación:** Aumento de la concentración de estas sustancias tóxicas a medida que se asciende en la cadena trófica, desde productores primarios hasta consumidores superiores.

### 1.3.1 Ambiental

#### A) Mitigación de la contaminación del suelo

- **Fitorremediación eficiente:** El uso del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y bambú verde (*Guadua angustifolia*) en la fitorremediación es una estrategia eficiente para reducir las concentraciones de metales pesados en suelos contaminados. Estos bambúes tienen la capacidad de absorber y acumular metales pesados, mejorando así la calidad del suelo y reduciendo los riesgos ambientales asociados con la contaminación.
- **Recuperación de ecosistemas:** La implementación de fitorremediación con bambú contribuye a la recuperación de ecosistemas degradados, promoviendo la biodiversidad y restaurando funciones ecológicas críticas en áreas afectadas por la contaminación de metales pesados.

#### B) Biodiversidad y conservación:

- **Hábitat natural:** El bambú proporciona un hábitat natural para una variedad de especies de flora y fauna, fomentando la biodiversidad local.
- **Planta nativa y resiliente:** Tanto el bambú amarillo como el bambú verde son plantas nativas y resilientes que pueden prosperar en condiciones ambientales adversas, lo que las hace ideales para proyectos de restauración ambiental.

#### C) Captura de carbono:

- **Reducción de gases de efecto invernadero:** Los bambúes son plantas de rápido crecimiento que capturan grandes cantidades de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de la atmósfera. Su uso en la fitorremediación contribuye a la mitigación del cambio climático al reducir la concentración de gases de efecto invernadero.

#### D) Impacto en la cadena trófica

- **Contaminación de plantas:** Las plantas que crecen en suelos contaminados absorben metales pesados, que se acumulan en sus tejidos.
- **Herbívoros:** Los animales que se alimentan de estas plantas contaminadas ingieren los metales pesados. Debido a la bioacumulación, los niveles de toxinas en sus cuerpos pueden ser significativamente más altos que en las plantas.
- **Carnívoros y humanos:** Los consumidores secundarios y terciarios, incluyendo los seres humanos, al consumir herbívoros contaminados, reciben dosis aún mayores de metales pesados debido a la biomagnificación. Esto puede llevar a problemas graves de salud.

### 1.3.2 Social

La fitorremediación con bambú amarillo y bambú verde puede reducir la concentración de metales pesados (Pb y Cd) en el suelo, disminuyendo así la bioacumulación y biomagnificación de estos contaminantes en la cadena alimentaria. Esto resulta crucial para prevenir problemas de salud en la población local.

- **Prevención de enfermedades:** Al reducir la exposición a metales pesados, se previenen enfermedades crónicas y agudas asociadas con la toxicidad de estos elementos.
- **Protección de poblaciones vulnerables:** Los niños, mujeres embarazadas y ancianos son especialmente susceptibles a los efectos negativos de los metales pesados. Este estudio puede ayudar a proteger a estos grupos vulnerables.
- **Mejora de la calidad de vida:** Al garantizar un ambiente más limpio y seguro, se mejora la calidad de vida de las comunidades afectadas, reduciendo la incidencia de enfermedades y los costos de atención médica.
- **Sostenibilidad y bienestar comunitario:** Un suelo más saludable contribuye al bienestar general de la comunidad, permitiendo un desarrollo sostenible y una mejor calidad de vida a largo plazo.

Casos de enfermedades por metales pesados (Pb y Cd) en el suelo a través de la cadena trófica:

**a. Saturnismo, intoxicación por plomo (Pb)**

**Causa:** Exposición al plomo a través de la cadena trófica, derivada de su presencia en el suelo contaminado.

**Caso:** Crisis del plomo en Kabwe, Zambia

**Fuente de contaminación:** Actividades mineras y de fundición de plomo que dejaron el suelo gravemente contaminado.

**Cadena trófica:** El plomo en el suelo contaminado fue absorbido por plantas y pastos, los cuales fueron consumidos por animales. Estos animales, a su vez, fueron consumidos por los humanos, transfiriendo el plomo a través de la cadena alimentaria.

**Síntomas en humanos:**

- En los niños, daños neurológicos severos, como problemas de aprendizaje, reducción del coeficiente intelectual, y trastornos del comportamiento.
- En adultos, hipertensión, problemas renales, y daños reproductivos.

**Impacto:** La población de Kabwe presenta niveles de plomo en sangre significativamente altos, con graves consecuencias para la salud pública.

**Ejemplo específico:** Los animales de granja y silvestres en la región, al consumir plantas y agua contaminadas, bioacumulan plomo en sus tejidos. Las personas que consumen carne, leche y otros productos derivados de estos animales se exponen al plomo.

**b. Itai-itai, intoxicación por Cadmio (Cd)**

**Causa:** Exposición al cadmio a través de la cadena trófica, proveniente del suelo contaminado.

**Caso:** Enfermedad Itai-itai en la Cuenca del Río Jinzu, Japón

**Fuente de contaminación:** Minería y fundición de zinc que liberaron cadmio en el río Jinzu, contaminando así el suelo de los arrozales.

**Cadena trófica:** El cadmio en el suelo fue absorbido por las plantas de arroz, que luego fueron consumidas por los humanos. El cadmio también afectó a los animales que consumían estas plantas o bebían agua contaminada.

**Síntomas en humanos:** Dolor extremo en huesos y articulaciones, fragilidad ósea, fracturas, y daño renal severo que puede llevar a insuficiencia renal.

**Impacto:** Numerosos casos de enfermedad grave y muerte, especialmente entre las mujeres mayores de la región.

**Ejemplo específico:** Los animales de granja y silvestres que bebían agua contaminada y consumían plantas de arroz también acumulaban cadmio. Los humanos que consumían estos animales y productos derivados se exponían a niveles peligrosos de cadmio.

#### **1.3.2.1 Beneficios ecológicos y de salud pública**

La descontaminación de suelos mediante bambú no solo mejora la salud del ecosistema, promoviendo la biodiversidad y la estabilidad ecológica, sino que también tiene beneficios directos para la salud pública al reducir la exposición humana a metales pesados.

#### **1.3.2.2 Mitigación de la biomagnificación**

Al reducir la concentración de metales pesados en la base de la cadena trófica, se disminuye la probabilidad de biomagnificación. Esto protege a los niveles tróficos superiores, incluyendo los humanos, de la exposición a altas concentraciones de metales tóxicos.

#### **1.3.2.3 Desarrollo económico sostenible:**

- **Generación de empleo:** Los proyectos de fitorremediación y el cultivo de bambú pueden generar empleo local, ofreciendo oportunidades de trabajo en la plantación, mantenimiento y procesamiento de bambú.

#### 1.3.2.4 Conciencia ambiental y educación:

- **Programas educativos:** La implementación de proyectos de fitorremediación con bambú puede ser acompañada de programas educativos y de concienciación ambiental, fomentando una mayor comprensión y aprecio por las prácticas sostenibles y la importancia de la conservación del medio ambiente.
- **Participación comunitaria:** Involucrar a la comunidad en proyectos de fitorremediación puede aumentar la conciencia ambiental y promover una mayor participación en la conservación del medio ambiente, fortaleciendo el tejido social y la colaboración comunitaria.

### 1.4 Hipótesis y descripción variables

#### 1.4.1 Hipótesis

##### 1.4.1.1 Hipótesis general

La capacidad de acumulación del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*) influye positivamente como estrategia de fitorremediación para suelos con bajas concentraciones de metales pesados en el botadero del sector Quimpitiriqui, departamento de Ayacucho.

##### 1.4.1.2 Hipótesis específicas

- La capacidad de acumulación del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*) mejora positivamente en la concentración final de metales pesados en el suelo con bajas concentraciones de estos metales.
- La capacidad de acumulación del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*) mejora positivamente en los parámetros fisicoquímicos del suelo con bajas concentraciones de estos metales.
- Las características morfológicas del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*) presentan cambios favorables después de la estrategia de fitorremediación de suelos

con bajas concentraciones de metales pesados en el botadero del sector Quimpitiriqui.

- La remoción de metales pesados a través de la biomasa radicular y aérea del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*) será significativo después de la estrategia de fitorremediación de suelos con bajas concentraciones de metales pesados en el botadero del sector Quimpitiriqui.

## **1.4.2 Descripción de variables**

### **1.4.2.1 Variable dependiente**

La variable dependiente es la capacidad de acumulación del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*).

### **1.4.2.2 Variable independiente**

La variable independiente es la estrategia de fitorremediación de suelos con bajas concentraciones de metales pesados en el botadero del sector Quimpitiriqui.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **1.5 Antecedentes del problema**

#### **1.5.1 Antecedentes internacionales**

Se llevó a cabo una investigación exhaustiva para la realización de este trabajo, la cual incluyó la revisión detallada de diversos recursos bibliográficos como artículos científicos, tesis, revistas y libros. Por ejemplo, se consultaron los siguientes recursos:

**En la tesis titulada:** "Estudio de factibilidad del uso de la fitorremediación como alternativa para la remoción de metales pesados en el suelo utilizado como botadero a cielo abierto en Utopía-Yopal", (2) para optar al título de Ingenierías Ambientales y Sanitarias, presentada en la Universidad de La Salle de Bogotá, Colombia, en 2017, se llevó a cabo una investigación experimental para evaluar la viabilidad de la fitorremediación utilizando las especies *Arachis Pintoi* y *Chrysopogon*

*Zizanioides* como alternativa para la remoción de metales pesados en el suelo del botadero a cielo abierto de la sede Utopía de la Universidad de la Salle.

El estudio comenzó analizando las características fisicoquímicas y los niveles de metales pesados en los suelos del relleno sanitario, comparándolos con los niveles en suelos sin influencia antropogénica. Una vez identificados los metales de interés, se seleccionaron las especies vegetales más adecuadas para adaptarse a las condiciones climáticas del suelo y cumplir con los requisitos de remoción de metales.

A continuación, se llevaron a cabo catorce componentes de simulación para evaluar la eficiencia de remoción de metales pesados, observar el comportamiento fenotípico de las plantas y analizar la concentración de metales en los tejidos vegetales. Esto permitió analizar las respuestas físicas y toxicológicas de las plantas ante la presencia de metales.

Finalmente, se realizó una evaluación de factibilidad para comprender la viabilidad económica de las alternativas evaluadas. Este análisis consideró aspectos económicos y financieros relacionados con la implementación de la fitorremediación como método de remoción de metales pesados en el suelo del botadero a cielo abierto.

Este estudio integral buscó determinar si la fitorremediación era una opción viable y efectiva para remediar los suelos contaminados con metales pesados en la mencionada ubicación, teniendo en cuenta tanto los aspectos científicos como los económicos involucrados en el proceso.

**Tesis titulada:** “Rizofiltración de aguas de riego agrícola contaminados por metales pesados en comunidades del municipio de Atlixco, Puebla” (3) con **objetivo general**; utilizar y mejorar la aplicación de la rizo-filtración para tratar aguas residuales, centrándose en la capacidad de absorción de metales pesados por dos especies vegetales diferentes en condiciones naturales.

**Materiales y métodos:** Se desarrolló un método para caracterizar el entorno natural con aguas residuales agrícolas y seleccionar las especies

vegetales adecuadas para el tratamiento de metales pesados mediante rizo-filtración. Se utilizaron técnicas de espectroscopia de absorción atómica por flama, siguiendo las normativas NOM-003-SEMARNAT-1996 y NMX-AA-051-SCFI-2001, para analizar cuatro metales pesados: plomo (Pb), cromo (Cr), hierro (Fe) y níquel (Ni). Los resultados mostraron que los metales pesados más absorbidos fueron el Ni, con un porcentaje de absorción del 35.1% al 0.9%, y el Fe, con un porcentaje de absorción del 32.6% al 6.1%.

El agua tratada con rizo-filtración presentó diferentes niveles de remoción de metales pesados, con variaciones mes a mes. La mayoría de los embalses alcanzaron la máxima remoción al quinto mes, que corresponde a 150 días, con porcentajes que oscilaron entre el 76.3% y el 24.5% del contenido inicial de metales pesados en el embalse.

**Conclusión:** Se encontró la presencia de metales pesados en el agua agrícola de las tres comunidades estudiadas, con concentraciones de Cr, Fe y Pb por debajo de los límites establecidos por la normativa NOM 01. Sin embargo, se identificó una concentración de Ni por encima del límite, lo cual representa un riesgo potencial para la salud. Aunque la presencia de Pb y Ni en el agua doméstica comunitaria no fue un enfoque central de este estudio, es importante mencionar que su presencia ha sido documentada en estudios anteriores. Ahora, las concentraciones encontradas superan los niveles reportados previamente, lo que plantea posibles problemas de salud en la región.

### 1.5.2 Antecedentes nacionales

En la tesis titulada: “Remoción de cadmio y plomo en suelos a orillas del río Mantaro, Junín, mediante Fitorremediación con girasol (*Helianthus annuus*) y maíz (*zea mays*) usando enmiendas”, (4) en cuanto al objetivo general: determinar y/o establecer la cantidad de cadmio y plomo removido en suelos contaminados, aplicando de *Zea Mays* (Maíz) y *Helianthus annuus* (Girasol) con distintas enmiendas orgánicas, mediante fitorremediación.

Los materiales y métodos utilizados en este estudio se describen de la siguiente manera: Se seleccionó el tipo de muestreo de acuerdo con las pautas de muestreo de suelos agrícolas o de tierras de cultivo del departamento de medio ambiente. Se recolectaron muestras de suelo contaminado con cadmio (Cd) y plomo (Pb) en el departamento de Junín, provincia de Jauja, distrito de Pampa, Hualí, obteniendo un total de 50 kg de suelo contaminado. Las muestras se homogeneizaron para obtener una muestra representativa que se utilizó como suelo inicial en el estudio.

Los datos se obtuvieron a través de 6 tratamientos con corrección y 2 tratamientos de control sin corregir, con un total de 24 réplicas. Este diseño experimental permitió obtener datos confiables para determinar qué especies vegetales son más adecuadas para la extracción de cadmio y plomo en suelos agrícolas, ofreciendo una solución confiable y de menor costo en comparación con otros tratamientos.

Además, se utilizaron enmiendas como compost y humus para optimizar el desarrollo de las especies utilizadas en el estudio. Se consideraron estudios previos que sugieren que *Helianthus annuus* L. tiende a absorber más plomo que cadmio, mientras que el maíz tiende a absorber más cadmio. Las especies se cultivaron durante un período de 64 días, brindando las condiciones óptimas para su desarrollo.

**En conclusión**, se demostró que la especie *Zea mays* (maíz) mostró excelentes resultados en la remoción de plomo del suelo contaminado, con valores de 76.22 mg/kg de plomo removido en su biomasa radicular y 2.18 mg/kg de cadmio en su biomasa radicular. Además, se obtuvieron valores destacados en la biomasa aérea, con 50.50 mg/kg de plomo y 2.40 mg/kg de cadmio. Palabras clave: cadmio, plomo, fitorremediación, remoción.

**Tesis titulada:** “Fitorremediación de suelos contaminados con plomo utilizando *amaranthus spinosus-amaranthaceae* en Cusco” (5) con objetivo general: El propósito fundamental es examinar cómo la raíz, el tallo, las hojas y la inflorescencia de la planta *Amaranthus spinosus*

(jatacco silvestre, opa jatacco ojo de pescados) absorben y acumulan plomo en distintas concentraciones de este metal.

**Metodología:** Se llevó a cabo en las instalaciones del invernadero de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC). Se utilizaron macetas con suelo de textura franco, que se contaminaron artificialmente con diferentes cantidades de plomo: 0 ppm (grupo de control), 200 ppm, 400 ppm y 600 ppm de Pb/Kg-1 de suelo, utilizando acetato de plomo (CH<sub>3</sub>-COO)<sub>2</sub>Pb. Las macetas se distribuyeron en un diseño estadístico de bloques al azar, con un arreglo factorial de 3x4, repetido 4 veces. Después de 20 días de exposición a la contaminación, se trasplantaron plántulas de amaranto, una planta por maceta, seleccionada según factores ambientales y condiciones de crecimiento. En el día 136 después de la floración, se extrajeron las plantas por completo y se separaron en raíces, tallos, hojas e inflorescencias. Luego, se evaluó la absorción de plomo utilizando espectroscopia de absorción atómica (EAA).

**Conclusión:** Como resultado, se concluye que cuando se cultiva amaranto en suelos altamente contaminados con plomo, la planta tiene la capacidad de acumular este metal en sus tejidos sin experimentar mortalidad. Además, se observa una tolerancia al plomo por parte de la planta.

**Tesis titulada:** “Biorremediación de suelo y tratamiento de lixiviados con carbón activado de bambú del ex - basurero a cielo abierto el zapote” (6)

**Objetivo general:** El objetivo principal de este estudio es determinar la capacidad de biorremediación del suelo mediante el uso de lodos residuales (LR) y el tratamiento de lixiviado con carbón activado obtenido a partir del bambú.

**Métodos y materiales:** Para lograrlo, se tomaron muestras en el área de intervención, que corresponde al ex-basurero a cielo abierto "El Zapote" en Tampico. Se empleó la técnica de Tomografía Eléctrica (TE), que implica la colocación de electrodos a lo largo de un perfil con un espaciado específico. La técnica se basa en obtener una sección 2-D de las resistividades reales del subsuelo, lo que permite detectar áreas de disminución anómala de la resistividad y posibles filtraciones de agua en

profundidad. Se realizaron cinco tomografías eléctricas alrededor y a un costado del cuerpo de desechos para caracterizar el área y obtener información detallada.

**Conclusión:** La utilización de tomografías eléctricas (TE) demostró ser beneficiosa en la caracterización del suelo, brindando información espacialmente distribuida con resolución adecuada. Además, se logró ubicar y delimitar plumas de contaminación de lixiviados. Los análisis de los lixiviados revelaron contenidos de DBOs/DQOs en el rango de 0.07-0.2, lo que indica una biodegradabilidad baja del contenido de materia orgánica. La especie de bambú *Guadua amplexifolia* mostró características prometedoras, con alto contenido de materia volátil y baja cantidad de ceniza, lo que sugiere su potencial para producir carbón activado de calidad. En consecuencia, esta especie de bambú se considera una materia prima adecuada y rentable para la obtención de carbón activado y para el tratamiento eficiente de lixiviados. En particular, el estudio demostró una eficiencia significativa en la eliminación de plomo, níquel, cobre y zinc contenidos en lixiviados provenientes del vertedero estabilizado.

En la **tesis titulada:** “Fitorremediación del suelo para la reducción de metales pesados con *Vetiveria zizanioides* y *Lolium perenne* del ex botadero, Zapatero 2021”, (7) para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental en la Universidad César Vallejo del Perú en el 2021, este trabajo de investigación tuvo como **objetivo general** evaluar la efectividad de la fitorremediación del suelo para disminuir la concentración de metales pesados utilizando las plantas *Vetiveria zizanioides* y *Lolium perenne* en el sitio antiguo de disposición de residuos llamado "Zapatero 2021". A través de enfoques experimentales, se logró identificar diversas razones detrás de las variaciones observadas en las respuestas. Los resultados indican que, en el contexto de la fitorremediación de metales pesados, la especie *Lolium perenne* ha demostrado ser la más exitosa en los suelos del antiguo vertedero de Zapatero. Con respecto a dos tipos específicos de metales pesados, se logró una reducción del 51% en As y del 27% en Pb a los 30 días. Por otro lado, la especie *Vetiveria zizanioides* mostró ser particularmente eficaz al lograr una disminución del 73% en Cd

en el mismo período. En última instancia, se llegó a la conclusión de que la especie *Lolium perenne* demostró ser la más eficiente en este proceso de fitorremediación.

El **problema general** planteado se enfoca en medir la eficacia de la fitorremediación del suelo con la participación de *Vetiveria zizanioides* y *Lolium perenne* en el antiguo sitio de vertido "Zapatero 2021". Dentro de los problemas específicos se plantean dos cuestiones particulares: Primero, se busca conocer las propiedades químicas del suelo antes y después del tratamiento en el sitio mencionado. Segundo, se indaga sobre las características biométricas de las plantas *Vetiveria zizanioides* y *Lolium perenne* en el mismo sitio.

Los **objetivos específicos** propuestos incluyen el análisis de las propiedades químicas del suelo tanto antes como después del tratamiento en el sitio de disposición "Zapatero 2021". Además, se busca evaluar las medidas biométricas de las plantas *Vetiveria zizanioides* y *Lolium perenne* en ese mismo sitio.

Este proyecto se centrará en investigar y desarrollar la fitorremediación de metales pesados mediante la plantación de *Vetiveria zizanioides* y *Lolium perenne* en el antiguo vertedero de Zapatero. A raíz de esto, surgen dos hipótesis opuestas: Por un lado, se plantea la hipótesis nula ( $H_0$ ) que sostiene que la siembra de *Vetiveria zizanioides* y *Lolium perenne* no tiene un impacto significativo en la fitorremediación de metales pesados en el suelo del antiguo vertedero "Zapatero 2021". Por otro lado, la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) sugiere que la siembra de *Vetiveria zizanioides* y *Lolium perenne* conduce a una fitorremediación efectiva de metales pesados en el suelo del mismo antiguo vertedero "Zapatero 2021".

**En la tesis** "CAPACIDAD DE BIOADSORCIÓN DE CADMIO(II) CON *Bambusa vulgaris* EN UNA SOLUCIÓN ACUOSA CONTAMINADA – HUANCAYO", (8) para optar el Grado Académico de Maestro en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible en la Universidad Nacional del Centro de Perú, Huancayo – Perú, 2020.

Inicialmente, se llevó a cabo una evaluación de las hojas de *Bambusa vulgaris*, conocido como bambú, como agentes adsorbentes con el

propósito de eliminar los iones Cd (II) presentes en soluciones acuosas. Se realizaron diversas pruebas para determinar como factores, como el pH, la cantidad de adsorbente, la concentración inicial y la temperatura afectan el proceso de adsorción. Las pruebas experimentales se llevaron a cabo siguiendo un diseño experimental estadístico 2K. Además, se analizó la biomasa mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectrofotometría infrarroja por transformada de Fourier (FTIR).

Se determinó que las hojas de bambú poseen superficies rugosas y porosas que pueden desempeñar el papel de adsorbentes en la remoción de metales pesados. El proceso de adsorción se lleva a cabo a través del intercambio de iones. Los resultados revelaron que las condiciones experimentales más óptimas para la eliminación del Cd (II) fueron un pH de 6, una cantidad de 2 gramos por litro de adsorbente, una temperatura de 30 °C y una concentración inicial de 20 miligramos por litro.

La observación cinética indicó que la adsorción ocurre rápidamente en los primeros 15 minutos y alcanza el equilibrio en un período de 25 minutos. El modelo de pseudo segundo orden resultó ser el más adecuado para describir este proceso.

En términos de equilibrio de adsorción, los modelos de Langmuir y Freundlich se ajustaron de manera óptima a los datos, y se encontró que la capacidad máxima de remoción fue de 103,09 miligramos por gramo.

En el estudio termodinámico, se concluyó que la adsorción de Cd (II) en las hojas de bambú es un proceso endotérmico, favorable y espontáneo. Basándose en los resultados obtenidos, se hace una recomendación para utilizar las hojas de bambú como adsorbente para eliminar el Cadmio (II) presente en soluciones acuosas.

## **1.6 Bases teóricas**

### **1.6.1 Fitorremediación**

La fitorremediación es el proceso de buscar purificar o descontaminar diferentes ambientes mediante el uso de plantas, extrayendo contaminantes del ambiente. Dependiendo de la especie, estas plantas tienen la capacidad de eliminar diferentes contaminantes como pesticidas

y metales pesados, evitando su propagación a través del suelo y las aguas superficiales y subterráneas. (9)

Es preciso tener presente que, existen diversas características con las cuales las plantas obtienen un sistema de fitorremediador, de igual forma alcanzan un buen funcionamiento (10) Algunas de esas características a continuación se nombran:

1. Tolerancia al contaminante: Lo más importante es que las plantas pueden tolerar y desarrollarse en presencia de contaminantes.
2. Capacidad de remediación: Se debe llevar a cabo la remediación, ya que este es el objetivo fundamental de la implementación de la fitorremediación.
3. Reproducción y crecimiento: Las plantas deben tener un crecimiento rápido para lograr buenas tasas de remoción de contaminantes y optimizar los procesos de fitorremediación. Además, es importante que mantengan su capacidad reproductiva por herencia en presencia de perturbaciones.
4. Producción de biomasa: Con una gran cantidad de biomasa la planta puede llevar a cabo en su mayoría de remoción de contaminantes.
5. Resistencia al estrés: Es de suma importancia que la planta pueda resistir determinadas situaciones de estrés generadas por condiciones biológicas, químicas, físicas o climáticas.
6. Plantas nativas: Es recomendable en lo posible utilizar plantas nativas, es decir de la zona para alterar lo menos posible el ecosistema local.

#### **1.6.1.1 Factores importantes en los procesos de fitorremediación**

##### **a) Estrategias de las plantas**

Existen diferentes estrategias en las plantas para adaptarse a la presencia de contaminantes en el medio donde se desarrollan:

- ✓ **Plantas acumuladoras**

Estas plantas tienen la capacidad de acumular, almacenar contaminantes en sus tejidos, por otro lado, estos se encuentran en concentraciones muy superiores a las presentes en el medio (11)

✓ **Plantas indicadoras**

Estas plantas de igual forma acumulan contaminantes, sin embargo, las concentraciones en que se encuentran por lo general son un reflejo de la concentración presente en el medio, aumentando o disminuyendo a medida que este fluctúa (11)

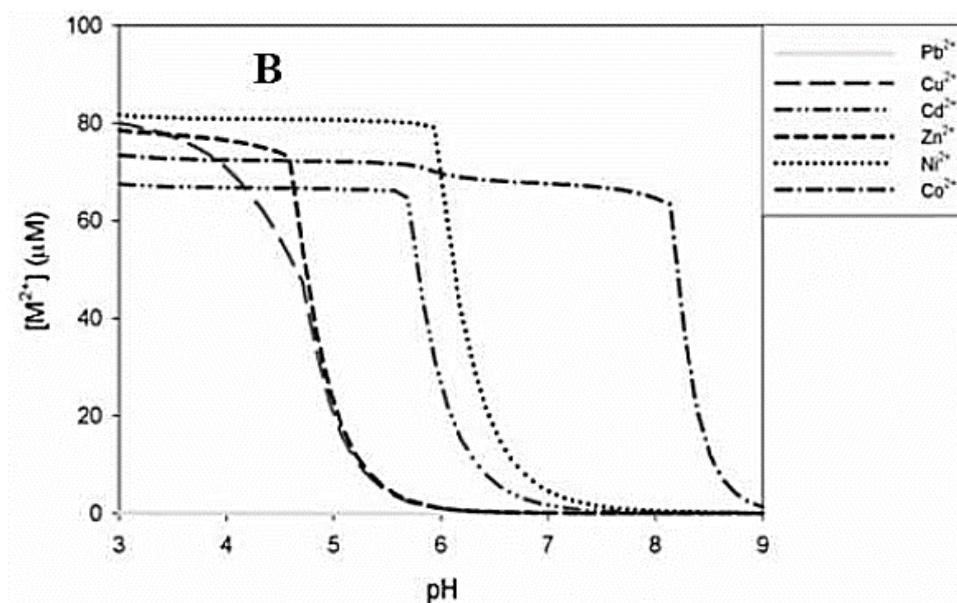
✓ **Plantas excluyentes**

Estas plantas reprimen, impiden el ingreso de contaminantes a sus tejidos aéreos. Por lo general los retienen en sus raíces, inmovilizándolos e impidiendo que sean transportados en el medio (11). De tal forma no permiten que los contaminantes sean lixiviados.

**b) Biodisponibilidad asociada al pH**

Para que se lleve a cabo el proceso de fitorremediación, los contaminantes deben estar disponibles para el proceso de remoción que realizan las plantas. Las condiciones ambientales pueden determinar la eficiencia del proceso. En el caso de los metales pesados, muchas veces las plantas necesitan encontrar elementos químicos en forma hidrosoluble para incorporarlos a sus procesos metabólicos. En este sentido, el pH juega un papel fundamental, ya que suelen existir de esta forma en ambientes ácidos. A medida que el pH se incrementa, la disponibilidad de metales pesados en su forma diluida disminuye, a su vez tienden a formar otros compuestos que la planta no puede (12). Es de suma importancia tener en cuenta la valencia del metal, lo cual definirá si estará o no biodisponible en las condiciones presentes. En la figura 1 se puede estimar y visualizar el efecto que presenta el pH en la disponibilidad de algunos metales pesados como iones en la fase acuosa.

Figura 1. Concentración de iones solubles vs. pH.



Fuente: (12)

Poseen las plantas mecanismos altamente especializados para estimular la disponibilidad de los metales a nivel de la rizósfera y aumentar así la capacidad de las raíces para remover los metales del medio. Se ha encontrado que algunas plantas pueden exudar ácido muginéico y avénico, e incluso pueden liberar iones  $\text{H}^+$  directamente de las raíces, acidificando el medio para así aumentar la disponibilidad de metales en forma diluida (13).

### c) Procesos de fitorremediación

Las plantas tienen una tendencia de absorber los contaminantes del medio en que se encuentran, ya sea en el suelo o en el agua (13). Algunos de estos, así, por ejemplo, algunos metales, son nutrientes esenciales (Tabla 1) como el cobre, el zinc y el níquel, mientras que otros no parecen tener actividad fisiológica alguna como el mercurio y el cadmio (13).

Tabla 1. Niveles adecuados en tejido vegetal de micronutrientes requeridos.

<b>Metal</b>	<b>Concentración de peso seco (ppm)</b>
<b>Cinc</b>	20
<b>Cobre</b>	6
<b>Níquel</b>	0.1

Fuente: (14)

## 1.6.2 Metales pesados

### 1.6.2.1 Metales pesados

Los metales pesados contribuyen a la contaminación de los suelos expuestos a lixiviados, esto es debido a que alteran las características propias de la zona, las concentraciones de estos metales están en función de algunas características físicas y químicas propias del suelo, como el pH, el contenido de arcillas, materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico (15).

Algunos metales pesados se pueden encontrar en concentraciones moderadas en los lixiviados de rellenos municipales, como el cadmio (Cd), Níquel (Ni), zinc (Zn), Cobre (Cu), cromo (Cr) y plomo (Pb). La variabilidad encontrada de metales pesados en diferentes rellenos se debe a la diferencia entre la composición de los residuos y tecnologías utilizadas en los distintos sitios de disposición final, por otra parte, se atribuye a la inexistencia de protocolos para el muestreo, filtración, y almacenamiento de muestras de lixiviados (16).

Por otro lado, dentro de la fitorremediación existen algunos mecanismos, entre ella está la fitoextracción; que es la absorción y movimiento de contaminantes como metales en el suelo a través de las raíces de las plantas, por otra parte, el mecanismo de hiperacumulación; las plantas hiperacumuladoras absorben grandes cantidades de metales y las acumulan en su interior. De igual forma, está la fitofiltración que se da a través de las raíces, blastofiltración (plántulas) y caulofiltración (brotes de plantas extirpados) (17).

### **1.6.2.2 Metales pesados como contaminantes de suelo**

Existen diversos aspectos que afectan negativamente a la calidad del suelo, y uno de ellos es su contaminación, en particular aquella derivada de metales pesados a la cual queremos hacer una referencia de forma más exhaustiva. Los metales pesados, se pueden encontrar en el suelo tanto de forma natural, es decir, procedentes de la roca madre, o bien haber sido incorporados al mismo de forma antropogénica, por ejemplo, mediante el uso de fertilizantes, y más recientemente, por enmiendas orgánicas obtenidas a partir de materiales orgánicos de nueva generación, en particular, con lodos de depuradora. (18)

### **1.6.3 Bambúes**

#### **1.6.3.1 *Bambusa vulgaris***

Es una especie de bambú de la familia de las poáceas, desarrolla unos tallos muy consistentes que pueden alcanzar una altura aproximada de hasta 15 metros y un grosor de entre 5 y 9 cm, rectos y erectos en su base y ligeramente caídos en el ápice. Hay que destacar que las capacidades de sorción de *Bambusa vulgaris* para cadmio, plomo y níquel aumentan con el aumento de concentración inicial de iones metálicos. Tomando la sorción de plomo, por ejemplo, inicialmente ya que la concentración era elevada de 50 ppm a 100 ppm, la capacidad de sorción se elevó en un 82% de 12,4 mg a 22,6 mg por gramo de biomasa. Esto aumentó aún más con una primera concentración de iones metálicos de 200 ppm, a 49,3 mg/g. (19)

#### **1.6.3.2 *Guadua angustifolia***

Popularmente denominada *gradua* o *tacuara*, es una especie botánica de la subfamilia de las gramíneas *Bambusoideae*, que tiene su hábitat en la selva tropical húmeda a orillas de los ríos. Esta especie es propia de las selvas sudestes venezolanas y también la encontramos al norte de Perú, Colombia, Bolivia, Guyana. (20)

La *guadua*, es un pasto gigante que más crece en el mundo y puede alcanzar hasta 30 metros de altura aproximadamente y un grosor hasta de 30 cm (Ministerio de agricultura y desarrollo rural, 1999). Ha sido el

Bambú leñoso y nativo más útil para el hombre. Sin este recurso el desarrollo de nuestra zona cafetera habría sido totalmente diferente. La *guadua* es una especie forestal representada por esbeltos y modulados tallos que enaltecen el paisaje de los valles interandinos es larga, recta, uniforme en su desarrollo, liviana, hueca, resistente, suave, de rápido crecimiento, de bello color e imperceptiblemente cónica. (21)

#### **1.6.4 El suelo y su calidad**

Los autores del artículo denominado metales pesados y su calidad del suelo en la revista Ciencia y Medio Ambiente (18) mencionan que, el suelo es un recurso natural no renovable, al menos de una escala de tiempo humano (Jenny, 1980). Asumimos por lo tanto el compromiso de la sostenibilidad, es decir, mantenerlo y conservarlo para las presentes y las futuras generaciones. Sin embargo, esto implica tener la necesidad de que el suelo se adapte a diferentes usos como son; agricultura, bosque, suelo urbano, industria, etc. En condiciones naturales, el recurso suelo tiende a un estado de equilibrio tras un lento proceso de formación denominado edafogénesis (Albaladejo y Díaz, 1990). En estas circunstancias se encuentra protegido por una vegetación que le aporta una gran cantidad de materia orgánica (MO) y nutrientes, además genera una mejora en su estructura. Puede decirse que los suelos mantienen una calidad adecuada, y además de sus funciones como productor de los alimentos.

Por otra parte, el suelo juega un papel importante en el mantenimiento de la calidad del aire, almacenamiento de agua y nutrientes para la planta y los microorganismos, igualmente como medio purificador de contaminantes, todo ello a través de procesos químicos, físicos y biológicos.

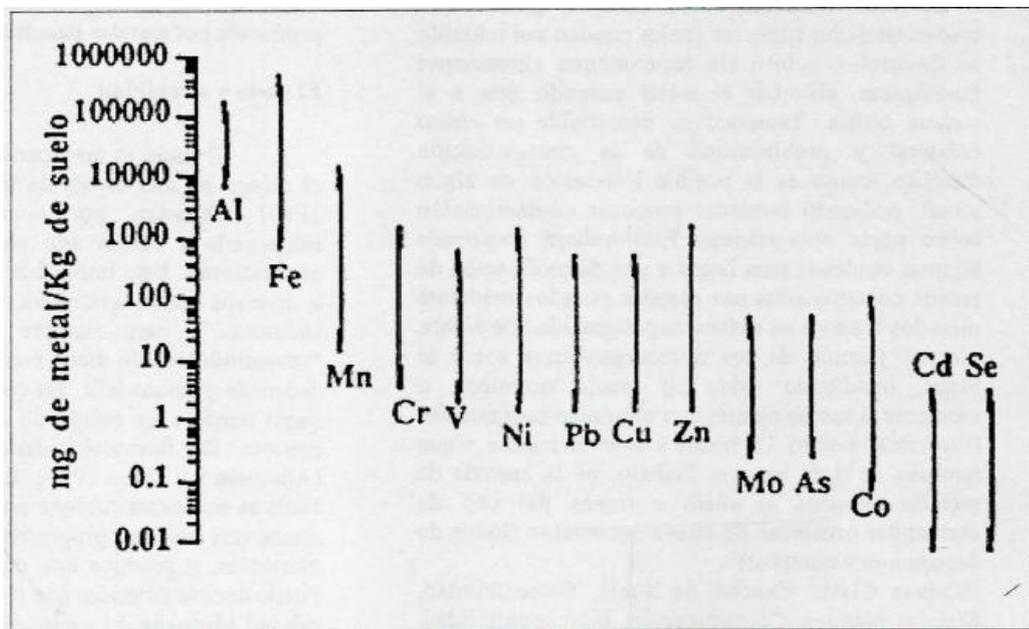
La calidad de suelo no es tan fácil de definir, ya que depende del uso que se le va a dar a dicho recurso entre ellos tenemos; agrícola, forestal, urbano, industrial. Una de los conceptos posibles es la ofrecieron Doran y Parkin en 1994, conceptualizando a la calidad de suelo como su capacidad para mantener su productividad biológica, su calidad

ambiental, promoviendo asimismo la salud de los animales, plantas y el ser humano.

Otro aspecto a matizar, y que incide en los procesos de degradación de un suelo, es la introducción de un determinado contaminante en el mismo, ya sea de forma accidental, o por abusos de diversas acciones antrópicas.

La necesaria eliminación de productos tóxicos y peligrosos, tanto orgánicos como inorgánicos, ha dado como resultado la continua y creciente degradación y contaminación del medio ambiente y de los ecosistemas que lo componen: aire, agua y suelo.

*Figura 2. Variación en la concentración de metales en suelos*



Fuente (18 pág. 126)

## 1.7 Definición de términos básicos

### 1.7.1 Acumulación

Es la capacidad que tienen solo algunas plantas para concentrar metales en sus tejidos a niveles muy por encima de los normales, sin presentar síntomas de toxicidad, es decir; factor de bio-concentración raíz/suelo.

### 1.7.2 Fitorremediación

Es el empleo de plantas y sus microorganismos asociados para la mejora funcional y recuperación de suelos contaminados.

### **1.7.3 Bambú**

Los bambúes pertenecen a la familia Poaceae, una de las familias de plantas más extensas y con mayor éxito evolutivo. (22)

### **1.7.4 Metales pesados**

Son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad alta, es decir son aquellos elementos metálicos cuyo peso específico es mayor de 5 g/cm<sup>3</sup> o con un número atómico superior a 20. Son en general tóxicos para los seres humanos y entre los más susceptibles de presentarse en el suelo, agua y aire. (23)

### **1.7.5 Suelo**

Es un recurso natural no renovable, que se encuentra formado por material inorgánico (arena, limo y partículas arcillosas), materia orgánica, agua, gases y organismos vivos (lombrices, insectos, algas, bacterias, hongos, etc.), entre los cuales se produce un intercambio continuo de moléculas. (18)

### **1.7.6 Suelo contaminado**

Un suelo contaminado es considerado como aquel que ha superado su capacidad de amortiguación para una o varias sustancias y, como consecuencia, pasa de actuar como un sistema protector a ser causa de problemas para el agua, la atmósfera y los organismos. (18)

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

### **1.8 Método, y alcance de la investigación**

#### **1.8.1 Método de la investigación**

Los métodos de investigación son una herramienta vital para el avance científico, porque permite comprobar o descartar hipótesis con parámetros fiables, de manera sostenida en el tiempo, y con objetivos claros. De esta manera se garantiza que las contribuciones al campo del conocimiento investigado puedan ser comprobadas y replicadas.

Por consiguiente, el método de la presente investigación es experimental, es decir que, a partir de lo descrito y explicado, se enfoca a predecir lo que sucederá en el futuro, si algo cambia en esa realidad. Sobre la base

de las respuestas al “¿cómo?” y al “¿por qué?”, como premisas, se afirma que, si se hace el cambio, sucederá tal cosa. (24)

Del mismo modo la investigación tiene el fin de experimentar, evaluar y cuantificar la eficiencia de la capacidad de acumulación del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*) para la fitorremediación de suelos con bajas concentraciones de metales pesados en el Botadero Sector Quimpitiriqui. para ello se determinará los procedimientos, materiales y equipos técnicos que ayudarán a cumplir con los objetivos y dar la validez a las hipótesis.

## **1.8.2 Alcance de la investigación**

### **1.8.2.1 Nivel de la investigación**

El nivel de la investigación es explicativo, según el autor Manuel Cortés (26) menciona que, este nivel va más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relación de concepto, están dirigidos a responder las causas de los eventos, sucesos y fenómenos físicos o sociales, en la presente investigación tiene como objetivo de explicar de qué manera la variable independiente (Capacidad de acumulación del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*) influye en la variable dependiente (estrategia de fitorremediación de suelos con bajas concentraciones de metales pesados en el Botadero Sector Quimpitiriqui.), explicando de qué manera la capacidad de acumulación de los bambús mencionados influyen en la remoción de suelos con bajas concentraciones de metales pesados por residuos sólidos.

### **1.8.2.2 Tipo de la investigación**

Es de tipo aplicada “La investigación aplicada recibe el nombre de “investigación práctica o empírica”, que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación”. (27)

## **1.9 Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación es experimental, dado a que se refiere a un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas-antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos-consecuentes), dentro de una situación de control para el investigador (28).

Según Creswell y Reichardt (29) denominan a los experimentos estudios de intervención, ya que un investigador genera una situación para tratar de explicar cómo afecta a quienes participan en ella, y en comparación con quienes no lo hacen. Es posible experimentar con seres humanos, seres vivos y ciertos objetos, pero siempre observando los principios éticos.

La presente investigación es de diseño experimental, según Fidias (30) "La investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente)"

## **1.10 Población y muestra**

### **1.10.1 Población**

Se tomará como población el Botadero Municipal Sector Quimpitiriqui esta se encuentra en el distrito de Sivia, provincia de Huanta, departamento de Ayacucho que tiene como coordenadas 623095.48 m E, 8618333.39 m S.

### **1.10.2 Muestra**

El punto de muestreo será en una trinchera antigua (623095.48 m E, 8618333.39 m S.). Se elige este punto porque la trinchera antigua se encuentra soterrada con material agregado donde se observa visiblemente malezas y otras malas hiervas, pero le falta realizar la reforestación conveniente y su recuperación del suelo contaminado por residuos sólidos. Es por ello que del área que se va a considerar se extraerá aproximadamente 90 kg de suelo para la investigación (se utilizarán 06 macetas a cada 15 kg de muestra), siguiendo la guía para

muestreo de suelos en el marco del Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM (Utilizando la Guía para el Muestreo de Suelos).

## **1.11 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **1.11.1 Técnicas**

- Observación

En esta investigación se utiliza la observación experimental como técnica de recolección de datos, ya que el investigador se involucra directamente con el objeto en estudio, en este caso, las muestras de suelo antes y después de la fitorremediación. Es importante observar y registrar los sucesos, puesto que, son las primeras impresiones y ello se consolida con los resultados de la experimentación. (31)

### **1.11.2 Instrumentos**

Al usar la observación experimental como técnica de recolección de datos, se utilizará como instrumento la hoja o ficha de registro de datos. (31)

Se recurre a estos instrumentos debido a su facilidad en el registro y manejo de información en función a las variables de la investigación. En la presente investigación se usarán 5 fichas de registro de datos:

#### **1. Instrumento N° 01**

Ficha de registro de muestreo de suelos. *Ver Anexo N° 01*

#### **2. Instrumento N° 02**

Ficha de registro de concentración de metales pesados. *Ver Anexo N° 02*

#### **3. Instrumento N° 03**

Ficha de registro de concentración de metales pesados. *Ver Anexo N° 03*

#### **4. Instrumento N° 04**

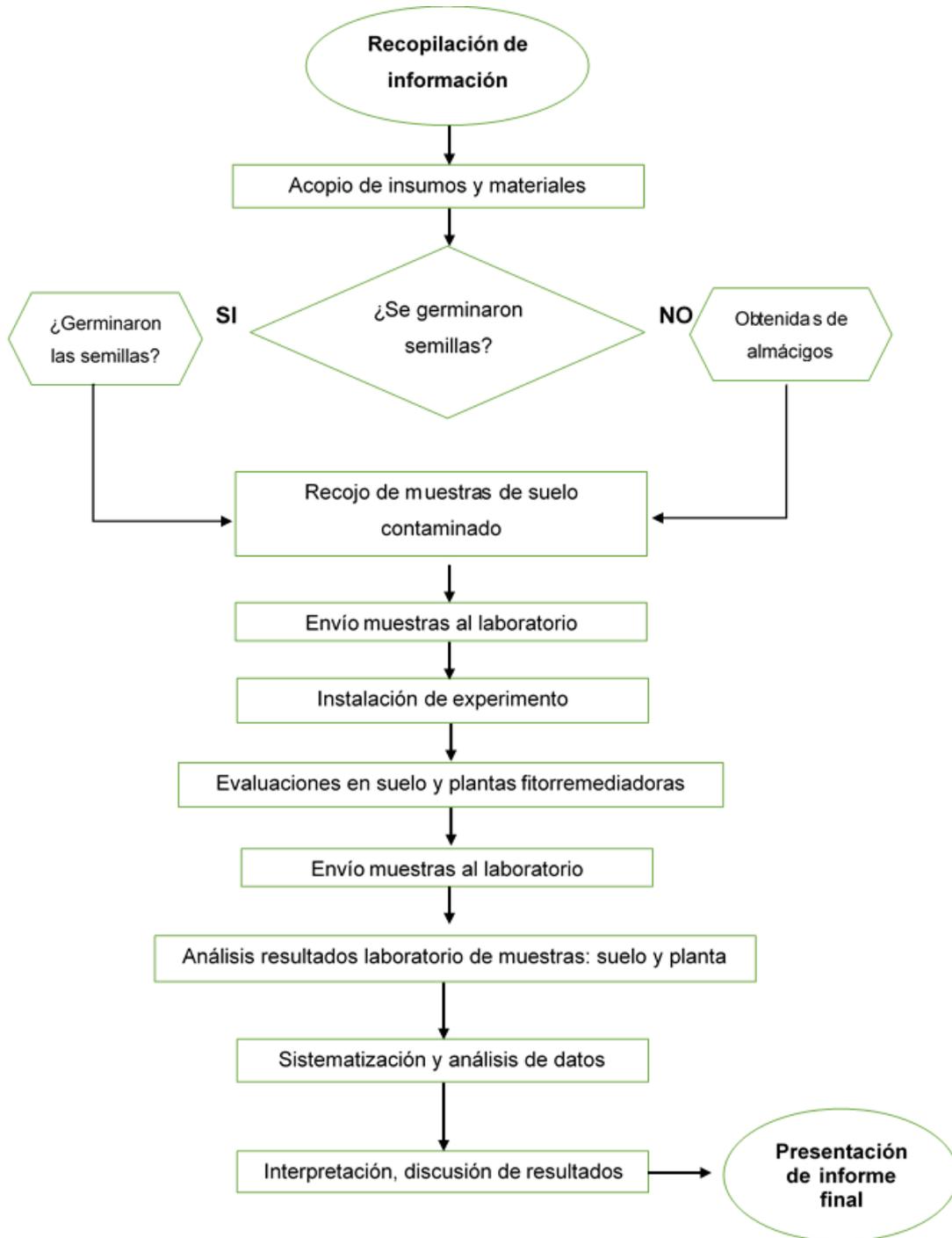
Ficha de registro del análisis del suelo testigo. *Ver Anexo N° 04*

#### **5. Instrumento N° 05**

Ficha de registro de fitorremediación del suelo. *Ver Anexo N° 05*

## 1.12 Metodología de experimentación

### 1.12.1 Secuencia de la investigación



### 1.12.2 Materiales utilizados para el muestreo de suelos

Para tomar las muestras del suelo, son necesario los siguientes materiales:

Tabla 2. Materiales para el muestreo de suelos

<b>MATERIALES</b>			
<b>N°</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
1	Bolsas impermeables para la muestra	20	Unidad
2	Cinta métrica	1	Unidad
3	Sacos (Costales)	5	Unidad
4	Guantes	10	Unidad
5	Plumones de tinta permanente	3	Unidad
6	Cámara fotográfica	1	Unidad
7	Macetas de 20 kg.	6	Unidad
8	Botellas	2	Unidad
9	Fichas de registro de muestreo de suelos	10	Unidad
10	Bolsas	1	Unidad
11	Cuaderno de apuntes.	1	Unidad
<b>HERRAMIENTAS</b>			
1	Pala de punta mango de madera	1	Unidad
2	Pico	1	Unidad
<b>INSUMOS</b>			
1	Agua para el regadío de la planta durante el proceso	1	Global
<b>PLANTAS</b>			
1	Bambú amarillo ( <i>Bambusa vulgaris</i> )	5	Unidad
2	Bambú verde ( <i>Guadua angustifolia</i> )	5	Unidad

Fuente (Propia)

### 1.12.3 Recolección de muestra para el muestreo de suelos

El suelo expuesto a fitorremediar se recolectó del terreno de la antigua trinchera del Botadero Sector Quimpitiriqui del distrito de Sivia – Huanta – Ayacucho, teniendo como coordenadas 623095.48 m E, 8618333.39 m S.

El tipo de muestreo utilizado fue considerado el método de rectángulo para áreas de contaminación de forma regular menores a 1 000 m<sup>2</sup> según la guía para muestreo de suelos – MINAM.

La técnica de muestreo manejado en campo fue considerando para muestras superficiales tomando en cuenta la técnica alternativa para la toma de muestras superficiales que fueron hoyos o zanjas.

Cuando el área de contaminación tenga forma regular de un rectángulo, el número de muestras y distribución, será de una muestra en cada pared corta (2), dos en cada pared larga (4) y dos en el fondo (2), total 8 muestras cada una de 6kg haciendo un total de 48 kg de muestra inicial de suelo contaminado, por lo que la toma de muestras se realizó con una profundidad de 60 cm como lo establece la guía para muestreo de suelos agrícolas del MINAM; las cuales fueron sometidas a partición, para reducirlas y obtener una muestra compuesta representativa. Para esto se procedió a cuartear la muestra mezclada y repetir el proceso hasta que llegue a la cantidad de material necesario.

*Tabla 3. Especificaciones de la cantidad de muestra de suelo inicial*

N°	Muestra	Cantidad (Kg)
01	Para el laboratorio (análisis de caracterización del suelo inicial y análisis físico de suelo)	8
02	Para la implementación del experimento	40
Total de muestra		48

*Fuente: elaboración propia*

La toma de muestras fue documentada detalladamente considerando los aspectos de acuerdo a la ficha de muestreo de suelo considerados en la Guía para el Muestreo de Suelos del MINAM (**Ver Anexo N° 01**):

- Datos generales del sitio en estudio (por ejemplo, ubicación, uso principal).
- Datos del punto de muestreo (por ejemplo, clave del punto, coordenadas, técnica de muestreo, instrumentos usados, profundidad final, profundidad de la napa freática, operador, etc.)
- Datos de las muestras tomadas (por ejemplo, clave de muestra, profundidad, características organolépticas, textura, cantidad de la muestra tomada, compactación/consistencia, humedad, etc.)
- Comentarios adicionales y ubicación de los puntos de muestreo en un Croquis.

Figura 3. Ubicación del lugar a tomar la muestra de suelo



Fuente (Propia)

#### **1.12.4 En el laboratorio (análisis de caracterización del suelo inicial y análisis físico de suelo)**

Se tomó 8 kg de muestra inicial de suelo las cuales fueron sometidas a partición, para reducirlas y obtener una muestra compuesta representativa. Para esto se procedió a cuartear la muestra mezclada y repetir el proceso hasta que llegue a la cantidad de material necesario de 2 kg aproximadamente para su posterior análisis en el laboratorio.

En el laboratorio se realizaron dos análisis iniciales:

- Análisis de caracterización del suelo testigo (*Ver Anexo N° 06*)
- Análisis físico del suelo (*Ver Anexo N° 07*)

#### **1.12.5 Implementación del experimento**

Se implementaron 02 macetas con una capacidad de 20 kg cada una, se implementaron recipientes para evitar la pérdida de líquidos y para coleccionar lixiviados del drenaje, se utilizaron un total de 40 kg de suelo contaminado del terreno que corresponde a la antigua trinchera del Botadero Sector Quimpitiriqui del distrito de Sivia – Huanta - Ayacucho, de esta manera se procedió con la siembra de las especies vegetales

bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*) obtenidas en el vivero del bosque de bambu de pichari.

Figura 4. Instalación de bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) en la maceta



Fuente (Propia)

Figura 5. Instalación de bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) en la maceta



Fuente (Propia)

Figura 6. Instalación de bambú verde (*Guadua angustifolia*) en la maceta



Fuente: propia

Figura 7. Plantas de bambú verde (*Guadua angustifolia*) instaladas



Fuente (Propia)

Las técnicas de recolección de datos se basaron en la revisión de bases de datos, análisis de documentos, observación directa de los hechos, entre otras; es por ello que de acuerdo a la naturaleza de investigación los instrumentos se darán a través de cuadros que representen los resultados a analizar.

Durante el desarrollo de la investigación se aplicó riego localizado a cada macetero para que la plántula de bambú verde (*Guadua angustifolia*) y bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) pueda ejercer su acción remediadora.

Se realizaron semanalmente las medidas de las características morfológicas (altura, grosor, cantidad de hojas) correspondientes a los bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*) previamente instalados en las macetas respectivas, de acuerdo a la ficha de registro de los indicadores de las características morfológicas **(Ver Anexo N° 02)**

*Figura 8. Primera medición de las características morfológicas (altura, grosor, cantidad de hojas)*



Fuente (Propia)

Figura 9. Segunda medición de las características morfológicas (altura, grosor, cantidad de hojas)



Fuente (Propia)

Figura 10. Tercera medición de las características morfológicas (altura, grosor, cantidad de hojas)



Fuente (Propia)

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1.13 Previo al proceso de fitorremediación de suelo con concentraciones bajas de metales pesados

#### 1.13.1 Análisis del suelo

Según el reporte de análisis de suelo mostrado en la Tabla 04: el suelo utilizado en la investigación presenta una concentración de 0.03 ppm de plomo (Pb) total y 0.01 ppm cadmio (Cd).

Un valor de 0.03 ppm de Pb en el suelo agrícola se considera una concentración baja. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el plomo es un metal pesado que puede ser tóxico para los seres humanos, animales y plantas en concentraciones más altas. Aunque 0.03 ppm es bajo, aún se debe monitorear y controlar la presencia de plomo en el suelo, especialmente en áreas agrícolas donde se cultivan alimentos, para asegurarse de que no haya acumulación gradual de niveles más altos de plomo en el suelo.

Al mismo tiempo, aunque la concentración de 0.01 ppm de Cd en el suelo agrícola se considera que es baja, el cadmio tiene la propiedad de acumularse con el tiempo en el suelo. Por lo tanto, incluso una concentración baja podría ser preocupante si no se monitorea y controla adecuadamente a lo largo del tiempo, ya que este puede acumularse en los tejidos de las plantas, lo que podría afectar la calidad y la seguridad de los alimentos producidos.

*Tabla 4. Resultados del análisis físico químico del suelo*

Muestra	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Clase textura I	M.O (%)	pH (H <sub>2</sub> O)	C.E (dS/m.)	N (%)	P	K
suelo con bajas concentraciones de metales pesados	0.03	0.01	Fr-Ao	1.26	8.51	0.74	0.06	3.3	88.9

Fuente (Propia)

Según el análisis el suelo es de clase textural Fr-Ao (franco-arenosa), esto significa que tiene textura equilibrada con una proporción significativa de arena, pero aún con presencia de limo y arcilla; los cuales podrían facilitar la lixiviación de elementos contenidos en el suelo en caso sea descontrolado y exagerado el volumen de agua aplicado para el riego de las plantas de bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*), por otro lado puede ser beneficioso para el cultivo, ya que tiene algunas propiedades de retención de agua y nutrientes, junto con un buen drenaje y aireación.

La presencia de materia orgánica es de 1.26% este nivel puede considerarse relativamente bajo en comparación con suelos más saludables o no degradados.

El pH inicial del suelo es de 8.51, lo que significa que es bastante alcalino y tiene una concentración relativamente alta de iones hidroxilo (OH<sup>-</sup>) en comparación con los iones de hidrógeno (H<sup>+</sup>), en un suelo degradado, un pH alcalino es un indicador de ciertos procesos de degradación, como la lixiviación de nutrientes, la pérdida de materia orgánica y otros factores que contribuyen a cambios en las propiedades del suelo.

La conductividad eléctrica (C.E) es de 0.74 dS/m lo que indica que tiene una baja conductividad.

#### **1.14 Durante el proceso de fitorremediación de suelo con bajas concentraciones de metales pesados**

##### **1.14.1 Determinación de la concentración de metales pesados antes y después de la fitorremediación**

En la Tabla 6 se reporta la concentración de plomo (Pb) y cadmio (Cd) antes y después de la fitorremediación con las plantas de bambú verde (*Guadua angustifolia*) y amarillo (*Bambusa vulgaris*), teniendo una concentración inicial de 0.03 ppm de plomo (Pb) y 0.01 ppm de cadmio (Cd) que se realizó en la muestra testigo, de la misma forma una concentración final en dos muestras; muestra N° 01 con la planta de bambú verde (*Guadua angustifolia*) se obtuvo una concentración final de 0.005 ppm de plomo (Pb) y 0.004 ppm de cadmio (Cd), y en la muestra N° 02 con la planta de bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) se alcanzó una concentración de 0.004 ppm de plomo (Pb) y 0.003 ppm de cadmio (Cd).

Tabla 5. Resultados de la concentración de metales pesados antes y después de la fitorremediación

Plantas de Bambúes	Antes de la fitorremediación				Después de la fitorremediación			
	Muestra	Humedad (%)	Plomo (ppm)	Cadmio (ppm)	Muestra	Humedad (%)	Plomo (ppm)	Cadmio (ppm)
Verde ( <i>Guadua angustifolia</i> )	Testigo	8.9	0.03	0.01	01	10.2	0.005	0.004
Amarillo ( <i>Bambusa vulgaris</i> )					02	10.8	0.004	0.003

Fuente (Propia)

Tabla 6. Resultados de la eficiencia de remediación de los metales pesados para cada tratamiento evaluado al final del proceso de remediación.

Tratamiento	Metales pesados	Inicial	Remediado	No Remediado	Remediado	No Remediado
		ppm	ppm	ppm	%	%
<b>T1</b> Suelo contaminado con Pb + Cd + Bambú verde ( <i>Guadua angustifolia</i> )	Plomo (Pb)	0.03	0.005	0.025	16.67	83.33
	Cadmio (Cd)	0.01	0.004	0.006	40	60
<b>T2</b> Suelo contaminado con Pb + Cd + Bambú Amarillo ( <i>Bambusa vulgaris</i> )	Plomo (Pb)	0.03	0.004	0.026	13.33	86.67
	Cadmio (Cd)	0.01	0.003	0.007	30	70

Fuente (Propia)

### 1.14.2 Influencia de la capacidad de acumulación de los bambúes en los parámetros físico - químico del suelo con bajas concentraciones de metales pesados

Se realizó un análisis de suelo al final del proceso de remediación para los dos tratamientos (**T1** Suelo contaminado con Pb + Cd + Bambú verde (*Guadua angustifolia*) y **T2** Suelo contaminado con Pb + Cd + Bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*)).

Tabla 7. Resultado final del análisis físico químico del suelo correspondiente a los tratamientos 1 y 2 (T1 y T2) luego del proceso de remediación

Muestra	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Clase textural	M.O (%)	pH (H <sub>2</sub> O)	C.E (dS/m.)	N (%)	P	K
suelo con bajas concentraciones de metales pesados	0.03	0.01	Fr-Ao	1.26	8.51	0.74	0.06	3.3	88.9
<b>T1</b> Suelo contaminado con Pb + Cd + Bambú verde ( <i>Guadua angustifolia</i> )	0.005	0.004	Fr-Ao	1.22	8.54	0.54	0.06	4.5	92.4
<b>T2</b> Suelo contaminado con Pb + Cd + Bambú Amarillo ( <i>Bambusa vulgaris</i> )	0.004	0.003	Fr-Ao	1.39	8.50	0.59	0.07	15.8	94.6

Según el análisis la textura de suelos es franco arenosa en ambos tratamientos, no existiendo ninguna variación en relación a la textura inicial del suelo; la materia orgánica en el tratamiento T1 se disminuyó en relación al valor inicial de 1,26 % a 1,22 %, y en el tratamiento T2 se incrementó en relación al valor inicial de 1,26 % a 1,39 % ; el pH en el tratamiento T1 aumentó en relación al valor inicial de 8.51 a 8.54, y en el tratamiento T2 disminuyó en relación al valor inicial de 8.51 a 8.50; la conductividad eléctrica que valora la salinidad del suelo en el tratamiento T1 se disminuyó en relación al valor inicial de 0.74 (dS/m.) a 0,54 (dS/m.), y en el tratamiento T2 también disminuyó en relación al valor inicial de 0.74 (dS/m.) a 0.59 (dS/m.); asimismo los niveles de N, P y K mejoraron en relación al nivel inicial detectado en el suelo. En consecuencia, los tratamientos

T1 y T2 no solo lograron ser eficientes en la remoción de plomo (Pb) y cadmio (Cd) sino que también favoreció en algunas propiedades del suelo resaltando en los niveles de N P y K, tal como se evidencia en el análisis de suelo correspondiente al tratamiento T1 y T2. La Tabla 7 presenta el resumen del resultado final del análisis físico químico del suelo correspondiente a los tratamientos 1 y 2 (T1 y T2) luego del proceso de remediación.

### 1.14.3 Determinación de las características morfológicas del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*)

Se evaluó el efecto de los tratamientos T1 y T2 en los indicadores de las características morfológicas de plantas de bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*), esta evaluación se realizó durante el proceso de remediación de un suelo contaminado con plomo (Pb) y cadmio (Cd); los registros de los indicadores de las características morfológicas se realizaron a los 30, 60 y 90 días de la instalación de la investigación, dichos resultados se presentan en las Tablas 8, 9 y 10 respectivamente.

*Tabla 8. Indicadores de las características morfológicas de las plantas de bambú a los 30 días de la instalación de la investigación para los tratamientos T1 y T2.*

Muestra/Tratamiento	N° MACETAS	N° PLANTAS	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	A LOS 30 DÍAS - OCTUBRE 2022			
					SEM 01	SEM 02	SEM 03	SEM 04
					8-Oct	15-Oct	22-Oct	29-Oct
T 1 Suelo contaminado con Pb + Cd + Bambú verde ( <i>Guadua angustifolia</i> )	maceta N° 01	(A) planta N°01	Altura	cm	55	60	64.1	68
			Hojas	Unidad	12	12	12	14
			Grosor	cm	1.5	1.5	1.8	2.1
		(B) planta N°02	Altura	cm	32	32	32	33
			Hojas	Unidad	7	7	12	19
			Grosor	cm	2	2	2.3	2.3
		(C) planta N°03	Altura	cm	0	3	5.2	6.3
			Hojas	Unidad	0	0	0	0
			Grosor	cm	0	0.2	0.5	0.5
T 2 Suelo contaminado con Pb + Cd + Bambú Amarillo ( <i>Bambusa vulgaris</i> )	maceta N°01	planta N°01 (B)	Altura	cm	28.5	30	31.8	32.4
			Hojas	Unidad	62	63	65	69
			Grosor	cm	1.6	1.6	1.7	1.8
		planta N°02 (A)	Altura	cm	0	6	9.5	12
			Hojas	Unidad	0	0	0	0
			Grosor	cm	0	0.5	0.5	1

Tabla 9. Indicadores de las características morfológicas de las plantas de bambú a los 60 días de la instalación de la investigación para los tratamientos T1 y T2.

Muestra/Tratamiento	N° MACETAS	N° PLANTAS	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	A LOS 60 DÍAS - NOVIEMBRE 2022			
					SEM 01	SEM 02	SEM 03	SEM 04
					5-Nov	12-Nov	19-Nov	26-Nov
T 1 Suelo contaminado con Pb + Cd + Bambú verde (Guadua angustifolia)	maceta N° 01	(A) planta N°01	Altura	cm	71	79.7	82.9	90.6
			Hojas	Unidad	14	15	15	17
			Grosor	cm	2.1	2.3	2.5	2.6
		(B) planta N°02	Altura	cm	33	39.1	46.4	50.7
			Hojas	Unidad	19	19	20	20
			Grosor	cm	2.3	2.4	2.4	2.4
		(C) planta N°03	Altura	cm	6.5	18.3	26.8	34.6
			Hojas	Unidad	0	3	4	6
			Grosor	cm	0.5	0.6	0.8	0.9
Suelo contaminado con Pb + Cd + Bambú Amarillo (Bambusa vulgaris)	maceta N°01	planta N°01 (B)	Altura	cm	33	33.7	34	35.2
			Hojas	Unidad	72	72	73	74
			Grosor	cm	1.8	1.8	1.9	1.9
		planta N°02 (A)	Altura	cm	12.5	13.6	15.9	18.3
			Hojas	Unidad	0	4	7	9
			Grosor	cm	1	1.1	1.2	1.2

Tabla 10. Indicadores de las características morfológicas de las plantas de bambú a los 90 días de la instalación de la investigación para los tratamientos T1 y T2

Muestra/Tratamiento	N° MACETAS	N° PLANTAS	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	A LOS 90 DÍAS - DICIEMBRE 2022			
					SEM 01	SEM 02	SEM 03	SEM 04
					3-Dic	10-Dic	17-Dic	24-Dic
T 1 Suelo contaminado con Pb + Cd + Bambú verde (Guadua angustifolia)	maceta N° 01	(A) planta N°01	Altura	cm	95.2	97.5	100.4	115.1
			Hojas	Unidad	18	20	20	22
			Grosor	cm	2.6	2.8	3	3
		(B) planta N°02	Altura	cm	55.3	61	69.2	72
			Hojas	Unidad	20	21	21	21
			Grosor	cm	2.4	2.5	2.5	2.5
		(C) planta N°03	Altura	cm	39	46.2	57	63.5
			Hojas	Unidad	7	9	11	12
			Grosor	cm	1	1.2	1.3	1.3
Suelo contaminado con Pb + Cd + Bambú Amarillo (Bambusa vulgaris)	maceta N°01	planta N°01 (B)	Altura	cm	35.9	36.3	36.3	37
			Hojas	Unidad	74	76	77	79
			Grosor	cm	1.9	2	2	2
		planta N°02 (A)	Altura	cm	21	23.4	24	25
			Hojas	Unidad	13	14	16	18
			Grosor	cm	1.2	1.3	1.3	1.3

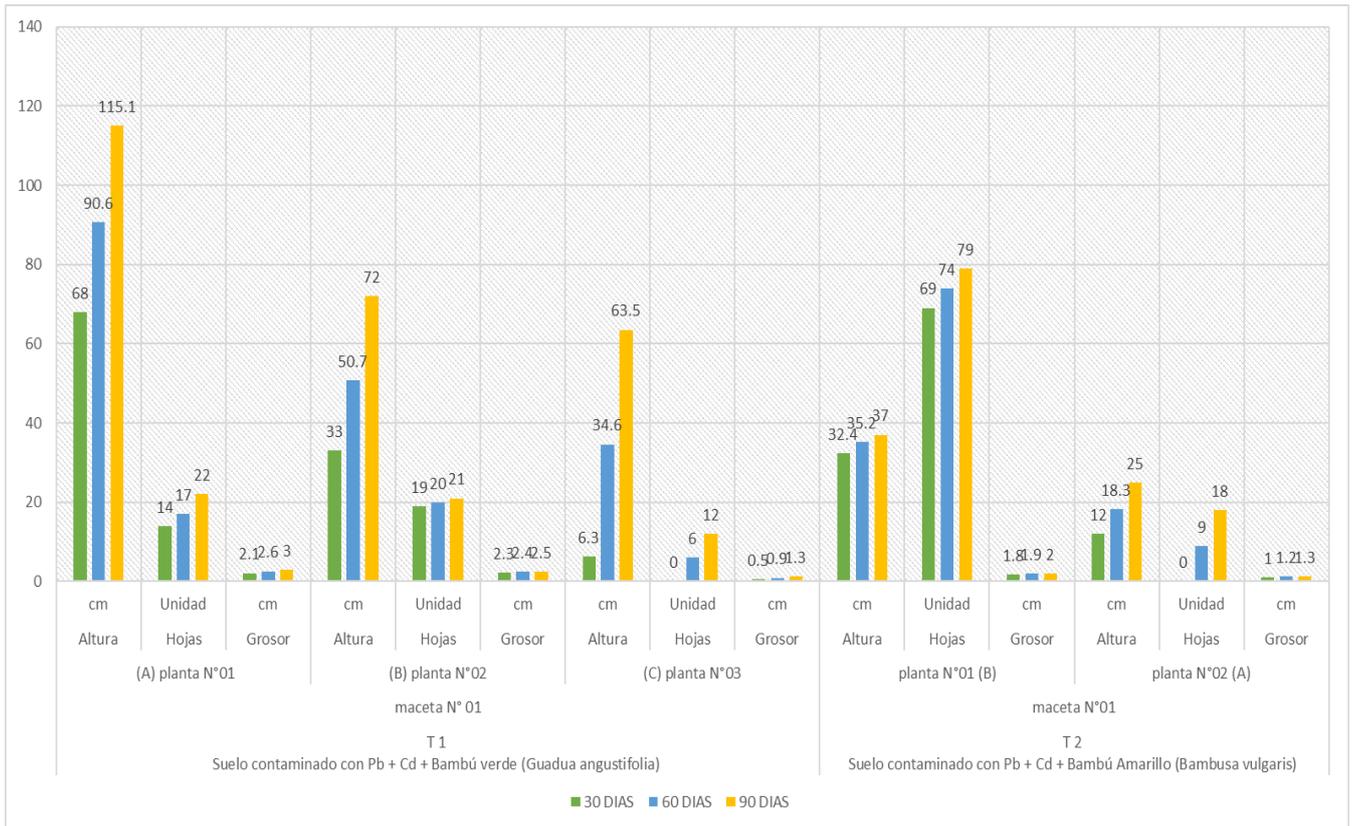
Tabla 11. Resumen de los indicadores de las características morfológicas de las plantas de bambú a los 30,60 y 90 días de la instalación de la investigación para los tratamientos T1 y T2

Muestra	N° MACETAS	N° PLANTAS	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	30 DIAS		60 DIAS	90 DIAS
					INICIAL	SEM 04	SEM 04	SEM 04
T 1 Suelo contaminado con Pb + Cd + Bambú verde ( <i>Guadua angustifolia</i> )	maceta N° 01	(A) planta N°01	Altura	cm	55	68	90.6	115.1
			Hojas	Unidad	12	14	17	22
			Grosor	cm	1.5	2.1	2.6	3
		(B) planta N°02	Altura	cm	32	33	50.7	72
			Hojas	Unidad	7	19	20	21
			Grosor	cm	2	2.3	2.4	2.5
		(C) planta N°03	Altura	cm	0	6.3	34.6	63.5
			Hojas	Unidad	0	0	6	12
			Grosor	cm	0	0.5	0.9	1.3
Suelo contaminado con Pb + Cd + Bambú Amarillo ( <i>Bambusa vulgaris</i> )	maceta N°01	planta N°01 (B)	Altura	cm	28.5	32.4	35.2	37
			Hojas	Unidad	62	69	74	79
			Grosor	cm	1.6	1.8	1.9	2
		planta N°02 (A)	Altura	cm	0	12	18.3	25
			Hojas	Unidad	0	0	9	18
			Grosor	cm	0	1	1.2	1.3

En cuanto a los resultados se determina que en los tres periodos de evaluación (a los 30,60 y 90 días) los tratamientos **T1** y **T2** presentan un incremento significativo de las características morfológicas (altura, numero de hojas y grosor) de plantas de bambú verde (*Guadua angustifolia*) y bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*), sin embargo, el tratamiento **T1** (Suelo contaminado con Pb + Cd + Bambú verde (*Guadua angustifolia*)) presenta mayor incremento en la altura con relación al valor inicial de 0 cm a 63.5 cm (Planta N° 03), así mismo con el número de hojas en relación al valor inicial de 7 a 21 unidades (Planta N° 02) y el grosor con relación al valor inicialbam de 1.5 cm a 3 cm (Planta N° 01).

Cabe resaltar que la interpretación de los resultados de las características morfológicas mencionadas influye directamente en la remoción de los metales pesados de plomo (Pb) y cadmio Cd), debido a que los resultados de esta investigación con respecto a la remoción del plomo y cadmio fueron más significativos en el tratamiento **T 1** (Suelo contaminado con Pb + Cd + Bambú verde (*Guadua angustifolia*)) como se visualiza en la Tabla 11.

Figura 11. Evolución de las características morfológicas de las plantas de bambú durante el proceso de remediación para los tratamientos T1 y T2.



#### 1.14.4 Determinación de la concentración de plomo y cadmio en la biomasa radicular y área del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*)

Una vez que se han realizado las mediciones, procedimos a determinar las concentraciones de plomo (Pb) y cadmio (Cd) en la biomasa radicular y área de los bambúes verde (*Guadua angustifolia*) y amarillo (*Bambusa vulgaris*) a los 90 días de la instalación de la investigación, del mismo modo, esta evaluación se desarrolló durante el proceso de remediación del suelo contaminado con metales pesados mencionados del botadero Quimpitiriqui; tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 12. Resultados de concentración de Plomo (Pb) y Cadmio (Cd) en la biomasa radicular y área de los bambúes.

Muestra/Tratamiento	Macetas	Planta/Repetición	Biomasa Radicular		Biomasa Aérea	
			Plomo (Pb) (ppm)	Cadmio (Cd) (ppm)	Plomo (Pb) (ppm)	Cadmio (Cd) (ppm)
Bambú verde ( <i>Guadua angustifolia</i> )	Maceta N° 01	Planta A	0.018	0.008	0.030	0.018

		Planta B	0.016	0.006	0.032	0.016
Bambú amarillo ( <i>Bambusa vulgaris</i> )	Maceta N° 02	Planta A	0.014	0.004	0.026	0.014
		Planta B	0.012	0.002	0.024	0.012

En los resultados de la Tabla 12, se pueden observar que las plantas bambú verde (*Guadua angustifolia*) y bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) presentan dentro de su biomasa radicular y aérea concentraciones de plomo (Pb) y cadmio (Cd).

Para interpretar los resultados debemos precisar que se extrajeron 02 plantas de cada especie de bambú haciendo un total de 04 plantas (02 de bambú verde (*Guadua angustifolia*) y 02 de bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*)):

Bambú verde (*Guadua angustifolia*) → Planta A y Planta B

Bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) → Planta A y Planta B

La concentración de los metales pesados en cada especie de bambú, fueron los siguientes:

## 1. Plomo (Pb)

### 1.1. Bambú verde (*Guadua angustifolia*)

En la biomasa radicular de la Planta A con 0.018 ppm, y en la Planta B con 0.016 ppm; en la biomasa aérea en la Planta A con 0.030 ppm y en la Planta B con 0.032 ppm.

### 1.2. Bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*)

En la biomasa radicular de la Planta A con 0.014 ppm, y en la Planta B con 0.012 ppm; en la biomasa aérea en la Planta A con 0.026 ppm y en la Planta B con 0.024 ppm.

## 2. Cadmio (Cd)

### 2.1. Bambú verde (*Guadua angustifolia*)

En la biomasa radicular de la Planta A con 0.008 ppm, y en la Planta B con 0.006 ppm; en la biomasa aérea en la Planta A con 0.018 ppm y en la Planta B con 0.016 ppm.

### 2.2. Bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*)

En la biomasa radicular de la Planta A con 0.004 ppm, y en la Planta B con 0.002 ppm; en la Biomasa Aérea en la Planta A con 0.014 ppm y en la Planta B con 0.012 ppm.

Así mismo hacemos una diferencia de concentraciones de plomo (Pb) y cadmio (Cd) en la biomasa radicular y biomasa aérea del bambú verde (*Guadua angustifolia*) y el bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*), en el cual se determina que en la biomasa aérea (hojas) existe mayor concentración de metales pesados a diferencia de la biomasa radicular (raíz) en ambas especies de bambús.

Además, se deduce que, la especie de bambú verde (*Guadua angustifolia*) presenta mejor y mayor concentración de plomo (Pb) y cadmio (Cd) en la biomasa radicular y aérea que la especie de bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*).

Finalmente podemos determinar que las especies de bambú verde (*Guadua angustifolia*) y de bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) son bioacumuladores de metales pesados (Plomo y cadmio) por lo que se afirma que se encuentran en la capacidad de ser utilizados para la fitorremediación en espacios y/o áreas contaminadas por metales pesados.

Figura 12. Concentración de Plomo (Pb) y Cadmio (Cd) en la biomasa radicular y área del Bambú verde (*Guadua angustifolia*)

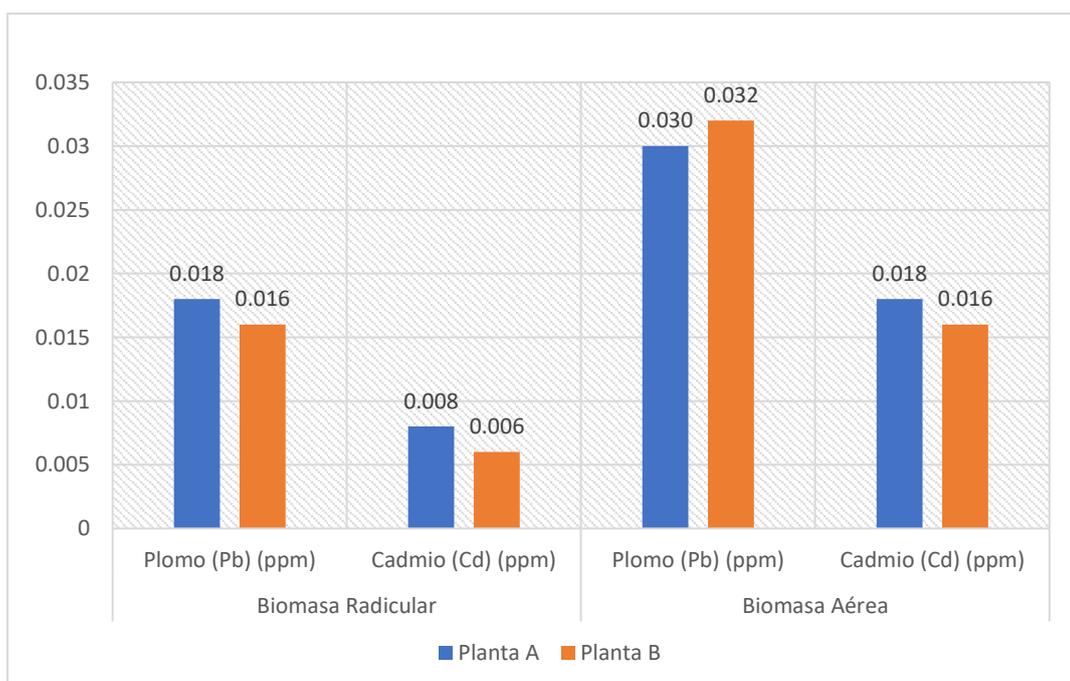
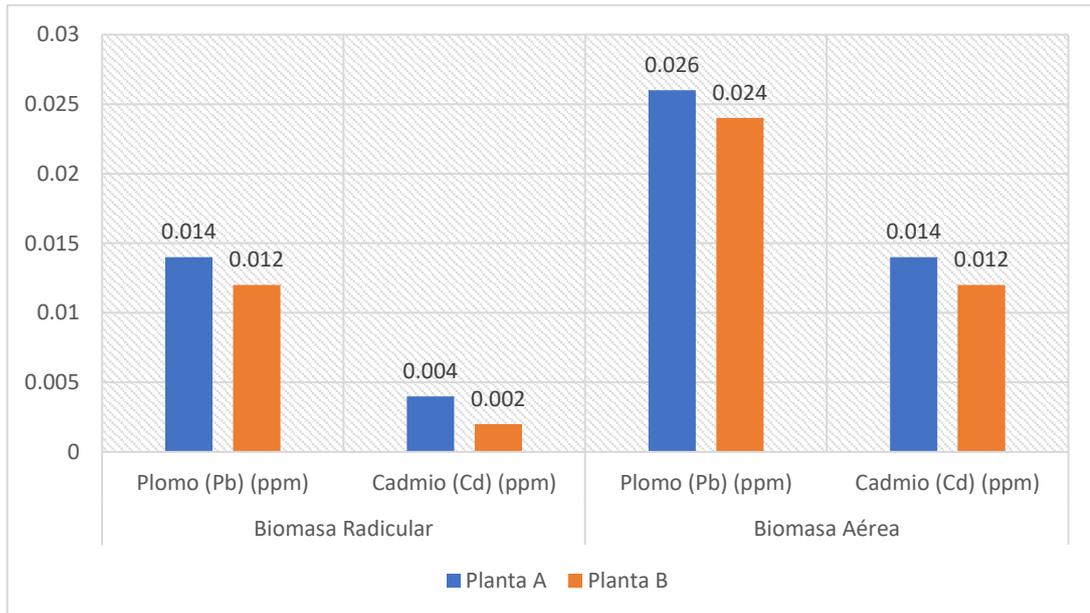


Figura 13. Concentración de Plomo (Pb) y Cadmio (Cd) en la biomasa radicular y área del Bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*)



### 1.15 Discusión de resultados

En la investigación ya concluida denominada “Capacidad de Acumulación de Bambú Amarillo (*Bambusa vulgaris*) y Bambú Verde (*Guadua angustifolia*) como estrategia de fitorremediación en suelos con bajas concentraciones de metales pesados en el botadero del sector Quimpitiriqui, Departamento de Ayacucho” los resultados muestran lo siguiente:

En nuestra investigación pudimos determinar que las plantas bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*) son plantas consideradas de fitoextracción o fitoacumulación ya que la absorción de metales contaminantes como plomo (Pb) y cadmio (Cd) se da mediante las raíces de las plantas y su acumulación en tallos y hojas, lo cual lo confirmamos en esta investigación realizada.

Así mismo en el Botadero del Sector de Quimpitiriqui en el departamento de Ayacucho se determinaron específicamente estos dos metales “plomo (Pb) y cadmio (Cd)”, para lo cual las plantas de bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*) pudo extraer estos metales acumulando en las raíces y hojas, pero con mayor presencia en las hojas.

## CONCLUSIONES

En el estudio se utilizaron dos especies vegetales bambú verde (*Guadua angustifolia*) y bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) en muestras de suelo contaminado por dos metales pesados (Plomo y cadmio) a lo largo de la investigación (90 días) se pudo determinar que la capacidad de acumulación de ambas especies influyó positivamente en la fitorremediación del suelo con bajas concentraciones de metales pesados.

Además, de acuerdo a los resultados de la investigación se demostró que la especie con mayor capacidad de acumulación en la fitorremediación de metales pesados (Plomo y cadmio) en el suelo con bajas concentraciones de metales pesados fue la especie de bambú verde (*Guadua angustifolia*) con valores de 0.005 ppm de plomo (Pb) y 0.004 ppm de cadmio (Cd), teniendo una eficiencia de remediación de 16.67% en plomo y 40% en cadmio en el suelo con bajas concentraciones de metales pesados.

Con respecto a los parámetros fisicoquímicos del suelo con bajas concentraciones de metales pesados y la capacidad de acumulación de las especies de bambú verde (*Guadua angustifolia*) y bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) podemos concluir que; las especies mencionadas no solo lograron ser eficientes en la remoción de plomo (Pb) y cadmio (Cd) sino que también favoreció en algunas propiedades del suelo resaltando en los niveles de N P y K.

Se evaluó el efecto de los tratamientos T1 y T2 en los indicadores de las características morfológicas de plantas de bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*), esta evaluación se realizó durante el proceso de remediación de un suelo contaminado con plomo (Pb) y cadmio (Cd); los registros de los indicadores de las características morfológicas se realizaron a los 30, 60 y 90 días de la instalación de la investigación, dichos resultados se presentan en las Tablas 8,9 y 10 respectivamente.

Finalmente, al realizar la comparación con los antecedentes, obtuvimos una gran diferencia, ya que los resultados de las concentraciones de los metales pesados en el suelo investigado, no sobrepasa los estándares de calidad ambiental, sin

embargo, su capacidad para acumularse en los organismos y biomagnificarse en la cadena trófica puede representar un riesgo significativo para la salud humana y el medio ambiente. Por lo tanto, es importante monitorear y gestionar adecuadamente las concentraciones de metales pesados, incluso en niveles bajos, para prevenir efectos adversos a largo plazo.

## RECOMENDACIONES

Finalizada la investigación llegamos a determinar las siguientes recomendaciones:

En consideración a los resultados de la investigación desarrollada sugerimos que el bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) pueda ser considerado como una alternativa tecnológica de remediación de sitios contaminados con metales pesados debido a que logró una mayor remoción de plomo (Pb) y cadmio (Cd) del suelo investigado con una eficiencia de 86.67 % y 70% respectivamente.

Aunque los niveles de metales pesados en el suelo puedan ser bajos y no superen los estándares de calidad ambiental se recomienda el uso de las plantas de bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*) para el tratamiento de suelos con presencia de metales pesados como plomo (Pb) y cadmio (Cd) especialmente en zonas selváticas ya que mencionadas plantas abundan en la parte sur-oriental del país, distribuyéndose entre los siguientes departamentos: Ucayali (19 035 km), Madre de Dios (16 114,22 km<sup>2</sup>), Cusco (3 867,91 km<sup>2</sup>) y Junín (960,52 km<sup>2</sup>).

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. **CARO, Lic. Maria Emilia.** EDB. *ELABORADO BAMBÚ.* [En línea] 2 de Julio de 2018. <https://www.eldoradobambu.com/post/2018/07/02/bamb%C3%BAes-para-fitorremediaci%C3%B3n>.
2. **LÓPEZ OLIVA, J. D., & Contreras Gómez, E.** *Estudio de factibilidad del uso de la fitorremediación como alternativa para la remoción de metales pesados en el suelo usado como botadero a cielo abierto en Utopía-Yopal.* 2017.
3. **GALLEGOS, FERNANDO PARRA.** *RIZOFILTRACIÓN DE AGUAS DE RIEGO AGRÍCOLA CONTAMINADOS POR METALES PESADOS EN COMUNIDADES DEL MUNICIPIO DE ATLIXCO, PUEBLA.* Puebla, México : s.n., 2017. págs. 5-10.
4. **GRANDEZ, M.** *“Remoción de cadmio y plomo en suelos a orillas del río Mantaro, Junín, mediante Fitorremediación con girasol (*Helianthus annuus*) y maíz (*zea mays*) usando enmiendas”.* Lima, Perú. : s.n., 2017.
5. **PAIVA, G.** *“Fitorremediación de suelos contaminados con plomo utilizando *amaranthus spinosus-amaranthaceae* en Cusco”.* . Cusco : s.n., 2015.
6. **ENRIQUEZ, M.T.A. BIANKA GUADALUPE SALAS.** *“BIORREMEDIACIÓN DE SUELO Y TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS CON CARBÓN ACTIVADO DE BAMBÚ DEL EX-BASURERO A CIELO ABIERTO EL ZAPOTE”* . Altamira, Tamaulipas. : s.n., 2016.
7. **EDÚ, Paredes García Leidy Laura y Pinedo García Joner.** *Fitorremediación del suelo para la reducción de metales pesados con *Vetiveria zizanioides* y *Lolium perenne* del ex botadero, Zapatero 2021”.* Tarapoto, Perú. : s.n., 2021. págs. vii, 2 y 3.
8. **CÁCERES LÓPEZ, Jorge Alfieri.** *Capacidad de bioadsorción de cadmio (II) con *Bambusa vulgaris* en una solución acuosa contaminada.* Huancayo : s.n., 2020.
9. *A Citizen’s Guide to Phytoremediation.* **Agency, United States Environmental Protection.** Abril de 2001, págs. 1-2.

10. *Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees—a review*. **I.D. Pulford\***, **C. Watson**. 2003.
11. **GHOSH, M., & SINGH, S. P.** *A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts*. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2005. págs. 3, 1-18. .
12. **HOFFMAN, TODD R. SANDRIN AND DOUGLAS R.** *Bioremediation of Organic and Metal Cocontaminated Environments: Effects of Metal Toxicity, Speciation, and Bioavailability on Biodegradation*. 2007.
13. **LASAT, M.M.** *Phytoextraction of Toxic Metals: a Review of Biological Mechanisms*. *Journal of Environmental Quality*. 2002. págs. 31, 109-120. .
14. **TAIZ, L., & ZEIGER, E.** *Plant Physiology 4th. ed.* *Sinauer Associates, Inc. Publishers.* . 2006.
15. **SOLANGE SÁNCHEZ, M., BEDOYA, A., & BARAHONA, R.** *studio preliminar de la fauna en el morro de basuras de Moravia y presencia de metales pesados en artrópodos y roedores*. s.l. : Universitas SCIENTIARUM, 2010. págs. 49-58.
16. **NÁJERA, H., CASTAÑÓN, J., FIGUEROA, J., & ROJAS VALENCIA, M.** *Caracterización y Tratamiento Físicoquímico de Lixiviados Maduros Producidos en el Sitio de Disposición Final de Tuxtla Gutiérrez*. Chiapas, México. : s.n., 2009.
17. **ALVERNIA, P & SOESILO, T.** *Phytoremediation as a Sustainable Way for Land rehabilitation of Heavy Metal Contamination. The 1st International Conference on Engineering and Applied Science* . 2019.
18. *Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo*. **Carlos García, José Luis Moreno, M. Teresa Hernandez y Alfredo Polo**. 2002, Ciencia y Medio Ambiente CCMA-CSIC, págs. 125-136.
19. **ASAMOA, R. K.,.** *Biosorption of heavy metals from wastewater using Bambusa vulgaris (Bamboo) PR. En 2nd UMaT Biennial International Mining and Mineral Conference*. 2012. págs. 56-61.

20. **CLAYTON, W.D., HARMAN, K.T. AND WILLIAMSON, H.** Especies de pastos del Mundo: Descripciones, Identificación, Información. [En línea] 2006. [https://es.wikipedia.org/wiki/Guadua\\_angustifolia](https://es.wikipedia.org/wiki/Guadua_angustifolia).
21. **MARÍN MONTOYA, Jhoan Pablo y CORREA RAMÍREZ, Juan Carlos.** *Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales en humedales artificiales utilizando la Guadua angustifolia Kunth.* 2010.
22. **GUZNAY, P.** "Guadua Angustifolia", *Palma Trop.* S.A. 2004. pág. 4. Vol. 60.
23. **FACSA.** [En línea] 2022. <https://www.facsa.com/metales-pesados/>.
24. **CASTILLO, Brenda.** *6 tipos de método de investigación.* 2020.
25. **SAMPIERI, Roberto Hernández.** *Método de la Investigación. Sexta.* 2014. pág. 93.
26. **ESCOBAR, HERNANDEZ.** *Metodología de la Investigacion Científica.* 2018.
27. **W, MURILLO.** *La investigación científica.* 2019.
28. **CORTÉS, Manuel E. Cortés.** *Generalidades sobre Metodología de la Investigación.* México : s.n., 2004.
29. **SAMPIERI, Roberto Hernández.** *Metodología de la Investigación. Sexta Edición .* 2017. pág. 162.
30. **G., FIDIAS.** *El proyecto de Investigación.* 2012.
31. **SIESQUÉN, Carla TAMAYO Ly Lic. Irene Silva.** *TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.*
32. **HERNÁNDEZ ESCOBAR, Arturo, y otros.** *Metodología de la Investigación Científica.* 2018.
33. *Generalidades sobre Metodología de la Investigación.* México : s.n., 2004.
34. **FIDIAS, G.** El proyecto de Investigación 5. [En línea] 2012. [Citado el: 30 de Julio de 2022.]

[https://www.academia.edu/9103795/Fidias\\_G.\\_Arias\\_El\\_Proyecto\\_de\\_Investigaci%C3%B3n\\_5ta.\\_Edici%C3%B3n?auto=download](https://www.academia.edu/9103795/Fidias_G._Arias_El_Proyecto_de_Investigaci%C3%B3n_5ta._Edici%C3%B3n?auto=download).

35. MURILLO, W. La investigación científica. [En línea] Noviembre de 2019. [Citado el: 29 de Julio de 2022.] <https://www.monografias.com/trabajos15/investcientifica/invest-cientifica.shtml>.

36. ASAMOA, R. K., *Biosorption of heavy metals from wastewater using Bambusa vulgaris (Bamboo) PR. En 2nd UMaT Biennial International Mining and Mineral Conference. 2012.*

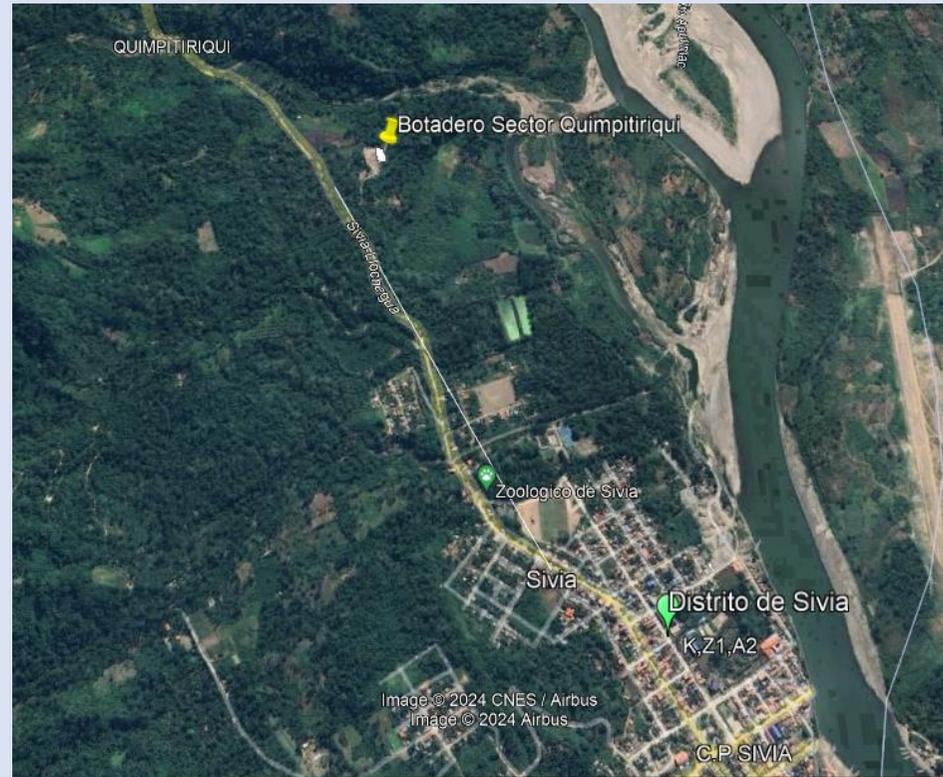
## ANEXOS

Anexo N° 01: Ficha de registro de muestreo de suelos.

DATOS GENERALES	
Nombre del Sitio de Estudio: Trinchera del botadero, sector Quimpitiriqui	Departamento: Ayacucho
Razon social:	Provincia: Huanta
Uso principal: Botadero de RR.SS municipales	Distrito: Sivia
	Dirección del Predio: A 1.38 Km del Distrito de Sivia - Llochegua (carretera)
DATOS DEL PUNTO DE MUESTREO	
Nombre del punto de muestreo:	
Coordenadas: X: 623095.48 m E Y: Y: 8618333.39 m S	Operador:
(UTM, WGS84) 18 L	Descripción de la Superficie:
Tipo de muestreo: Para áreas de contaminación de forma regular menores a 1 000 m2. Método de rectángulo.	Precipitación (si/no) intensidad:
Técnica de muestreo: Para muestras superficiales; hoyos o zanjas	Instrumentos usados:
Profundidad final:	Napa freática:
DATOS DE LAS MUESTRAS	
Clave de la muestra:	suelo con bajas concentraciones de metales pesados
Fecha:	6 de octubre del 2022
Hora:	4:00 pm
Profundidad desde:	0 cm
Profundidad hasta:	60 cm
Humedad:	8.9%
Componentes antropogénicos:	Residuos solidos
Cantidad de la muestra:	48 kg
Medidas de conservación:	Bolsas de polietileno
Tipo de muestra:	Método de rectángulo para áreas de contaminación de forma regular menores a 1 000 m2 según la guía para muestreo de suelos – MINAM.

Comentarios:

Croquis:



Anexo N° 02: Ficha de registro de los indicadores de las características morfológicas del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*)

Instrumento N° 02

Ficha de registro de los indicadores de las características morfológicas del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*)

Muestra/ Tratamiento	N° MACETAS	N° PLANTAS	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	A LOS 30 DÍAS - OCTUBRE 2022				A LOS 60 DÍAS - NOVIEMBRE 2022				A LOS 90 DÍAS - DICIEMBRE 2022			
					SEM 01	SEM 02	SEM 03	SEM 04	SEM 01	SEM 02	SEM 03	SEM 04	SEM 01	SEM 02	SEM 03	SEM 04
					8-Oct	15-Oct	22-Oct	29-Oct	5-Nov	12-Nov	19-Nov	26-Nov	3-Dic	10-Dic	17-Dic	24-Dic
T 1 Suelo contaminado con Pb + Cd + Bambú verde ( <i>Guadua angustifolia</i> )	maceta N° 01	(A) planta N°01	Altura	cm	55	60	64.1	68	71	79.7	82.9	90.6	95.2	97.5	100.4	115.1
			Hojas	Unidad	12	12	12	14	14	15	15	17	18	20	20	22
			Grosor	cm	1.5	1.5	1.8	2.1	2.1	2.3	2.5	2.6	2.6	2.8	3	3
		(B) planta N°02	Altura	cm	32	32	32	33	33	39.1	46.4	50.7	55.3	61	69.2	72
			Hojas	Unidad	7	7	12	19	19	19	20	20	20	21	21	21
			Grosor	cm	2	2	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.5	2.5	2.5
		(C) planta N°03	Altura	cm	0	3	5.2	6.3	6.5	18.3	26.8	34.6	39	46.2	57	63.5
			Hojas	Unidad	0	0	0	0	0	3	4	6	7	9	11	12
			Grosor	cm	0	0.2	0.5	0.5	0.5	0.6	0.8	0.9	1	1.2	1.3	1.3
T 2 Suelo contaminado con Pb + Cd + Bambú Amarillo ( <i>Bambusa vulgaris</i> )	maceta N°01	planta N°01 (B)	Altura	cm	28.5	30	31.8	32.4	33	33.7	34	35.2	35.9	36.3	36.3	37
			Hojas	Unidad	62	63	65	69	72	72	73	74	74	76	77	79
			Grosor	cm	1.6	1.6	1.7	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	2	2	2
		planta N°02 (A)	Altura	cm	0	6	9.5	12	12.5	13.6	15.9	18.3	21	23.4	24	25
			Hojas	Unidad	0	0	0	0	0	4	7	9	13	14	16	18
			Grosor	cm	0	0.5	0.5	1	1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3

Anexo N° 03: Ficha de registro de análisis de caracterización del suelo testigo

*Instrumento N° 03*

Ficha de registro de la capacidad de acumulación de los bambúes en los parámetros físico - químico del suelo con bajas concentraciones de metales pesados

Muestra	pH (H <sub>2</sub> O)	C.E (dS/m.)	N (%)	P	K	Pb (ppm)	Cd (ppm)
suelo con bajas concentraciones de metales pesados	8.51	0.74	0.06	3.3	88.9	0.03	0.01
Suelo con Bambú Verde ( <i>Guadua angustifolia</i> )	8.54	0.54	0.06	4.5	92.4	0.005	0.004
Suelo con Bambú Amarillo ( <i>Bambusa vulgaris</i> )	8.50	0.59	0.07	15.8	94.6	0.004	0.003

Anexo N° 04: Ficha de registro de concentración de metales pesados antes y después de la fitorremediación

Instrumento N° 04

Ficha de registro de concentración de metales pesados antes y después de la fitorremediación

Plantas de Bambúes	Antes de la fitorremediación				Después de la fitorremediación			
	Muestra	Humedad (%)	Plomo (ppm)	Cadmio (ppm)	Muestra	Humedad (%)	Plomo (ppm)	Cadmio (ppm)
Verde ( <i>Guadua angustifolia</i> )	Testigo	8.9	0.03	0.01	01	10.2	0.005	0.004
Amarillo ( <i>Bambusa vulgaris</i> )					02	10.8	0.004	0.003

Anexo N°05: Ficha de registro de concentración de Plomo y cadmio en la biomasa radicular y área del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*)

Instrumento N° 05

Ficha de registro de concentración de Plomo y cadmio en la biomasa radicular y área del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*)

Muestra	Repetición	Biomasa área			Biomasa radicular		
		Humedad (%)	Plomo (ppm)	Cadmio (ppm)	Humedad (%)	Plomo (ppm)	Cadmio (ppm)
Suelo con bajas concentraciones de metales pesados con Bambú Verde ( <i>Guadua angustifolia</i> )	A	69.1	0.030	0.018	66.2	0.018	0.008
	B	69.7	0.032	0.016	66.6	0.016	0.006
Suelo con bajas concentraciones de metales pesados con Bambú Amarillo ( <i>Bambusa vulgaris</i> )	A	77.8	0.026	0.014	88.8	0.014	0.004
	B	78.2	0.024	0.012	88.4	0.012	0.002

Anexo N° 06: Análisis de caracterización del suelo testigo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA  
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
 PROGRAMA DE INVESTIGACION EN PASTOS Y GANADERIA  
**LABORATORIO DE SUELOS Y ANALISIS FOLIAR**  
 Jr. Abraham Valdelomar N° 249 – Telf. 315936 966942996  
 Ayacucho – Perú  
 “Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”

Región : Ayacucho HR. 0405  
 Provincia : Huanta  
 Distrito : Sivia  
 Localidad : Sector Quimpitiriqui  
 Proyecto : “Capacidad de Acumulación del Bambú Amarillo (*Bambusa Vulgaris*) y el Bambú Verde (*Guadua Angustifolia*) en la Fitorremediación de Suelos Degradados por Metales Pesados en el Botadero Sector Quimpitiriqui Departamento de Ayacucho”.  
 Solicitante : Bach. Edmé Lisbeth Matos Medina Bach. Diana Elizabeth Torres Congachi

**ANALISIS DE CARACTERIZACION**

Muestra	Análisis mecánico (%)			Clase Textural	pH (H <sub>2</sub> O) 1:2.5	C. E. (dS/m.) 1:1	CaCO <sub>3</sub> (%)	M.O. (%)	Nt (%)	Elementos Disp. (ppm)		Cationes cambiables (Cmol(+)/Kg)						C. I. C. (Cmol(+)/Kg)
	Arena	Limo	Arcilla							P	K	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup>	H <sup>+</sup>	
01	55.3	33.3	11.4	Fr-Ao	8.51	0.74	3.0	1.26	0.06	3.3	88.9	4.08	0.48	0.52	1.76	0.0	0.0	7.5

Ayacucho, Octubre del 2022.

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS  
 PLANTA AGUAS Y FERTILIZANTES  
 RESPONSABLE  
  
 Juan B. Gilón Molina  
 C.I.P. 77120

Ao: Arenoso; AoFr: Arena franca; FrAo: Franco arenosos; Fr: Franco; FrL: Franco limoso; L: Limoso; FrArAo: Franco arcillo arenoso; FrAr: Franco arcilloso; FrAr: Franco arcillosos; FrArL: Franco arcillo limoso; ArAo: Arcillo arenoso; ArL: Arcillo limoso; Ar: Arcilloso



Anexo N° 07: Análisis físico inicial del suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
PROGRAMA DE INVESTIGACION EN PASTOS Y GANADERIA  
LABORATORIO DE SUELOS Y ANALISIS FOLIAR

Jr. Abraham Valdelomar N° 249 – Telf. 315936 966942996

Ayacucho – Perú

“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”

Región : Ayacucho HR. 098  
Provincia : Huanta  
Distrito : Sivia  
Localidad : Sector Quimpitiriqui  
Proyecto : “Capacidad de Acumulación del Bambú Amarillo (*Bambusa Vulgaris*) y el Bambú Verde (*Guadua Angustifolia*) en la Fitorremediación de Suelos Degradados por Metales Pesados en el Botadero Sector Quimpitiriqui Departamento de Ayacucho”.  
Solicitante : Bach. Edmé Lisbeth Matos Medina  
Bach. Diana Elizabeth Torres Congachi

### ANALISIS FISICO DE SUELO

Muestra	Humedad (%)	Plomo (ppm)	Cadmio (ppm)	Velocidad de Infiltración (mm/min)
01	8.9	0.03	0.01	24.2

Ayacucho, Octubre del 2022.

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS:  
PLANTA, AGUAS Y FERTILIZANTES  
RESPONSABLE

  
Juan E. Cárion Molina  
C.I.P. 77120

Ao: Arenoso; Ao-Fr: Arena franca; Fr-Ao: Franco arenosos; Fr: Franco; Fr-L: Franco limoso; L: Limoso; Fr-Ar-Ao: Franco arcillo arenoso; Fr-Ar: Franco arcilloso; Fr-Ar-L: Franco arcillo limoso; Ar-Ao: Arcillo arenoso; Ar-L: Arcillo limoso; Ar: Arcilloso

Anexo N° 08: Análisis de caracterización del suelo (Análisis Final)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA  
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
 PROGRAMA DE INVESTIGACION EN PASTOS Y GANADERIA  
 LABORATORIO DE SUELOS Y ANALISIS FOLIAR  
 Jr. Abraham Valdelomar N° 249 – Telf. 315936 966942996  
 Ayacucho – Perú  
 “Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

Región : Ayacucho HR: 0042  
 Provincia : Huanta  
 Distrito : Sivia  
 Localidad : Sector Quimpitiriqui  
 Proyecto : “Capacidad de Acumulación del Bambú Amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el Bambú Verde (*Guadua angustifolia*) en la Fitorremediación de Suelos Degradados por Metales Pesados en el Botadero Sector Quimpitiriqui Departamento de Ayacucho”  
 Solicitante : Srta. Bach. Edmé Lisbeth Matos Medina  
 Srta. Bach. Diana Elizabeth Torres Congachi

**ANALISIS DE CARACTERIZACION**

Muestra	Análisis mecánico (%)			Clase Textural	pH (H <sub>2</sub> O) 1:2.5	C. E. (dS/m.) 1:1	CaCO <sub>3</sub> (%)	M.O. (%)	Nt (%)	Elementos Disp. (ppm)		Cationes cambiabiles (Cmol(+)/Kg)						C. I. C. (Cmol(+)/Kg)
	Arena	Limo	Arcilla							P	K	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>-3</sup>	H <sup>+</sup>	
01	58.6	30.0	11.4	Fr-Ao	8.54	0.54	4.3	1.22	0.06	4.5	92.4	3.92	0.72	0.47	0.86	0.0	0.0	6.2
02	58.6	28.0	13.4	Fr-Ao	8.50	0.59	4.0	1.39	0.07	15.8	94.6	4.00	0.72	0.48	0.82	0.0	0.0	7.8

Ayacucho, 26 de Enero del 2023.

- 01: Suelo con Bambú Verde (*Guadua angustifolia*)  
 02: Suelo con Bambú Amarillo (*Bambusa vulgaris*)

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS  
 PLANTA, AGUAS Y FERTILIZANTES  
 RESPONSABLE  
  
 Juan B. Girón Molina  
 C.I.P. 77120

Ao: Arenoso; AoFr: Arena franca; FrAo: Franco arenosos; Fr: Franco; FrL: Franco limoso; L: Limoso; FrArAo: Franco arcillo arenoso; FrAr: Franco arcilloso; FrAr: Franco arcillosos; FrArL: Franco arcillo limoso; ArAo: Arcillo arenoso; ArL: Arcillo limoso; Ar: Arcilloso



Anexo N°10: Resultados de la concentración de Plomo y cadmio en la biomasa radicular del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua angustifolia*)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA  
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
 LABORATORIO DE SUELOS Y ANALISIS FOLIAR  
 Jr. Abraham Valdelomar N° 249 – Telf. 966942996  
 Ayacucho – Perú  
 “Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

Región : Ayacucho HR: 0003  
 Provincia : Huanta  
 Distrito : Sivia  
 Localidad : Sector Quimpitiriqui  
 Proyecto : “Capacidad de Acumulación del Bambú Amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el Bambú Verde (*Guadua angustifolia*) en la Fitorremediación de Suelos Degradados por Metales Pesados en el Botadero Sector Quimpitiriqui Departamento de Ayacucho”  
 Solicitante : Srta. Bach. Edmé Lisbeth Matos Medina  
 Srta. Bach. Diana Elizabeth Torres Congachi  
 Muestra : 01: Parte radicular (Raíz) de Bambú Verde (*Guadua angustifolia*)  
 02: Parte radicular (Raíz) de Bambú Amarillo (*Bambusa vulgaris*)

### ANALISIS FISICO-QUIMICO

	Repetición	Humedad (%)	Materia seca (%)	Plomo (ppm)	Cadmio (ppm)
Bambú verde	A	66.2	33.8	0.018	0.008
	B	66.6	33.4	0.016	0.006
Bambú amarillo	A	88.8	11.2	0.014	0.004
	B	88.4	11.6	0.012	0.002

Ayacucho, 26 de Enero del 2023

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS  
 PLANTA, AGUAS Y FERTILIZANTES  
 RESPONSABLE  
  
 Juan B. Gilón Molina  
 C.I.P. 77120

Anexo N°11: Resultados de la concentración de Plomo y cadmio en la biomasa  
 área del bambú amarillo (*Bambusa vulgaris*) y el bambú verde (*Guadua  
 angustifolia*)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA  
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
 LABORATORIO DE SUELOS Y ANALISIS FOLIAR  
 Jr. Abraham Valdelomar N° 249 – Telf. 966942996  
 Ayacucho – Perú  
 “Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

Región : Ayacucho HR: 0002  
 Provincia : Huanta  
 Distrito : Sivia  
 Localidad : Sector Quimpitiriqui  
 Proyecto : “Capacidad de Acumulación del Bambú Amarillo (*Bambusa vulgaris*) y  
 el Bambú Verde (*Guadua angustifolia*) en la Fitorremediación de Suelos Degradados  
 por Metales Pesados en el Botadero Sector Quimpitiriqui Departamento de Ayacucho”  
 Solicitante : Srta. Bach. Edmé Lisbeth Matos Medina  
 Srta. Bach. Diana Elizabeth Torres Congachi  
 Muestra : 01: Parte aérea (Hojas) de Bambú Verde (*Guadua angustifolia*)  
 02: Parte aérea (Hojas) de Bambú Amarillo (*Bambusa vulgaris*)

**ANALISIS FISICO-QUIMICO**

	Repetición	Humedad (%)	Materia seca (%)	Plomo (ppm)	Cadmio (ppm)
Bambú verde	A	69.1	30.9	0.030	0.018
	B	69.7	30.3	0.032	0.016
Bambú amarillo	A	77.8	22.2	0.026	0.014
	B	78.2	21.8	0.024	0.012

Ayacucho, 26 de Enero del 2023

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS  
 PLANTA, AGUAS Y FERTILIZANTES  
 RESPONSABLE

*Juan B. Giron Molina*  
 Juan B. Giron Molina  
 C.I.P. 77120

Anexo N°12: Operacionalización de Variables

Operacionalización de Variables.								
Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de dimensión			
<p><b>Variable dependiente</b></p> <p>Capacidad de acumulación del bambú amarillo (<i>Bambusa vulgaris</i>) y el bambú verde (<i>Guadua angustifolia</i>).</p>	<p>Los bambúes pertenecen a la Familia Poaceae, una de las familias de plantas más extensas y con mayor éxito evolutivo. La <i>Bambusa vulgaris</i> desarrolla unos tallos muy consistentes que pueden alcanzar una altura aproximada de hasta 15 metros y un grosor de entre 5 y 9 cm, rectos y erectos en su base y ligeramente caídos en el ápice. La <i>Guadua angustifolia</i> popularmente alcanza hasta 30 metros de altura aproximadamente y un grosor hasta de 30 cm. Ha sido el Bambú leñoso y nativo más útil para el hombre. Sin este recurso el desarrollo de nuestra zona cafetera habría sido totalmente diferente.</p>	<p>Las plantas de bambú serán trasplantadas en macetas con la muestra de suelo que tengan presencia de plomo y cadmio en el distrito de Sivia, y al cabo de tres meses será evaluada la acumulación de estos metales tanto en las hojas, raíces, su tamaño y la altura de los bambús durante ese tiempo de evaluación.</p>	<p>Características Morfológicas del bambú amarillo (<i>Bambusa vulgaris</i>) y el bambú verde (<i>Guadua angustifolia</i>)</p>	Tamaño inicial de la planta.	Cm			
				Tamaño final de la planta	Cm			
				Altura	Cm			
				Grosor	cm			
			Cantidad de hojas	Unidad				
			<p>Remoción de Plomo y cadmio por el bambú amarillo (<i>Bambusa vulgaris</i>) y el bambú verde (<i>Guadua angustifolia</i>)</p>				Concentración de Cd y Pb en la biomasa radicular	ppm
Concentración de Cd y Pb en la biomasa aérea	ppm							
<p><b>Variable independiente</b></p> <p>Estrategia de Fitorremediación de suelos con bajas concentraciones de metales pesados en el botadero del sector Quimpitiriqui</p>	<p>La fitorremediación es el proceso de buscar purificar o descontaminar diferentes ambientes mediante el uso de plantas, extrayendo contaminantes del ambiente. Dependiendo de la especie, estas plantas tienen la capacidad de eliminar diferentes contaminantes como pesticidas y metales pesados, evitando su propagación a través del suelo y las aguas superficiales y subterráneas. (9)</p>	<p>Se tomarán las muestras de suelo contaminado por plomo y cadmio en el Botadero del Sector Quimpitiriqui, se procederá a analizar los plomo y cadmio con sus respectivas cantidades presente en el suelo antes de aplicar la técnica de fitorremediación, después de tres meses se volverá a analizar el suelo para verificar si los metales fueron acumulados por las plantas y mejoraron la calidad del suelo</p>	<p>Concentración de plomo y cadmio el suelo</p>	Concentración inicial de plomo y cadmio en suelo.	ppm			
				Concentración final de plomo y cadmio en el suelo.	ppm			
			<p>Parámetros fisicoquímicos del suelo</p>				Conductividad	(mS/cm)
							pH	0-14
							Temperatura	°C

### Anexo N°13: Matriz de Consistencia

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Escala de dimensión	
<p><b>Problema General:</b> ¿De qué manera la capacidad de acumulación del bambú amarillo (<i>Bambusa vulgaris</i>) y el bambú verde (<i>Guadua angustifolia</i>) influye como estrategia de Fitorremediación de suelos con bajas concentraciones de metales pesados en el botadero del sector Quimpitiriqui?</p> <p><b>Problemas específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ¿Cuánto será la diferencia de la capacidad de acumulación del bambú amarillo (<i>Bambusa vulgaris</i>) y el bambú verde (<i>Guadua angustifolia</i>) en la concentración inicial y final de metales pesados en el suelo con concentraciones bajas?</li> <li>✓ ¿Cuál será la influencia de la ¿Cuál será la influencia de la capacidad de acumulación del bambú amarillo (<i>Bambusa vulgaris</i>) y el bambú verde (<i>Guadua angustifolia</i>) en los parámetros fisicoquímicos del suelo con bajas concentraciones de metales pesados?</li> <li>✓ ¿En que varían las características morfológicas del bambú amarillo (<i>Bambusa vulgaris</i>) y el bambú verde (<i>Guadua angustifolia</i>) en la estrategia de Fitorremediación de suelos con bajas concentraciones de metales pesados?</li> <li>✓ ¿Cuál es el resultado de la remoción de metales pesados en la biomasa radicular y aérea del BAMBÚ AMARILLO (<i>Bambusa vulgaris</i>) Y EL BAMBÚ VERDE (<i>Guadua angustifolia</i>) para la estrategia de Fitorremediación de suelos con bajas concentraciones de metales pesados en el botadero del sector Quimpitiriqui?</li> </ul>	<p><b>Objetivo General:</b> Determinar la capacidad de acumulación del bambú amarillo (<i>Bambusa vulgaris</i>) y el bambú verde (<i>Guadua angustifolia</i>) que influye en la estrategia de Fitorremediación de suelos con bajas concentraciones de metales pesados en el botadero del sector Quimpitiriqui.</p> <p><b>Objetivos Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Comparar la capacidad de acumulación del bambú amarillo (<i>Bambusa vulgaris</i>) y el bambú verde (<i>Guadua angustifolia</i>) en la concentración inicial y final de metales pesados en el suelo con concentraciones bajas de estos metales.</li> <li>✓ Analizar la influencia de la capacidad de acumulación del bambú amarillo (<i>Bambusa vulgaris</i>) y el bambú verde (<i>Guadua angustifolia</i>) en los parámetros fisicoquímicos del suelo con concentraciones bajas de metales pesados.</li> <li>✓ Determinar las características morfológicas del bambú amarillo (<i>Bambusa vulgaris</i>) y el bambú verde (<i>Guadua angustifolia</i>) en la estrategia de Fitorremediación de suelos con concentraciones bajas de metales pesados.</li> <li>✓ Determinar el resultado de la remoción de metales pesados en la biomasa radicular y aérea del BAMBÚ AMARILLO (<i>Bambusa vulgaris</i>) Y EL BAMBÚ VERDE (<i>Guadua angustifolia</i>) para la estrategia de fitorremediación de suelos con concentraciones bajas de metales pesados.</li> </ul>	<p><b>Hipótesis General:</b> La capacidad de acumulación del bambú amarillo (<i>Bambusa vulgaris</i>) y el bambú verde (<i>Guadua angustifolia</i>) influye positivamente como estrategia de Fitorremediación para suelos con bajas concentraciones de metales pesados en el botadero del sector Quimpitiriqui, Departamento de Ayacucho.</p> <p><b>Hipotesis Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ La capacidad de acumulación del bambú amarillo (<i>Bambusa vulgaris</i>) y el bambú verde (<i>Guadua angustifolia</i>) mejora positivamente en la concentración final de metales pesados en el suelo con bajas concentraciones de estos metales.</li> <li>✓ La capacidad de acumulación del bambú amarillo (<i>Bambusa vulgaris</i>) y el bambú verde (<i>Guadua angustifolia</i>) mejora positivamente en los parámetros fisicoquímicos del suelo con bajas concentraciones de estos metales.</li> <li>✓ Las características morfológicas del bambú amarillo (<i>Bambusa vulgaris</i>) y el bambú verde (<i>Guadua angustifolia</i>) presentan cambios favorables después de la estrategia de fitorremediación de suelos con bajas concentraciones de metales pesados en el botadero del sector Quimpitiriqui.</li> <li>✓ La remoción de metales pesados a través de la biomasa radicular y aérea del BAMBÚ AMARILLO (<i>Bambusa vulgaris</i>) Y EL BAMBÚ VERDE (<i>Guadua angustifolia</i>) será significativo después de la estrategia de fitorremediación de suelos con bajas concentraciones de metales pesados en el botadero del sector Quimpitiriqui</li> </ul>	<p><b>Variable dependiente</b></p> <p>Capacidad de acumulación del bambú amarillo (<i>Bambusa vulgaris</i>) y el bambú verde (<i>Guadua angustifolia</i>).</p>	<p>Características Morfológicas del bambú amarillo (<i>Bambusa vulgaris</i>) y el bambú verde (<i>Guadua angustifolia</i>)</p>	Tamaño inicial de la planta.	Cm	
					Tamaño final de la planta	Cm	
					Altura	Cm	
					Grosor	cm	
					Cantidad de hojas	Unidad	
				<p>Remoción de Plomo y cadmio por el bambú amarillo (<i>Bambusa vulgaris</i>) y el bambú verde (<i>Guadua angustifolia</i>)</p>	Concentración de Cd y Pb en la biomasa radicular	ppm	
					Concentración de Cd y Pb en la biomasa aérea	ppm	
				<p><b>Variable independiente</b></p> <p>Estrategia de Fitorremediación de suelos con bajas concentraciones de metales pesados en el botadero del sector Quimpitiriqui</p>	<p>Concentración de plomo y cadmio el suelo</p>	Concentración inicial de plomo y cadmio en suelo.	ppm
						Concentración final de plomo y cadmio en el suelo.	ppm
				<p>Parámetros fisicoquímicos del suelo</p>	Conductividad	(mS/cm)	
pH	0-14						
Temperatura	°C						

