

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

**“Efecto de diferentes concentraciones de plomo en la
respuesta morfológica de las especies huacatay (*Tagetes
minuta*), chicoria blanca (*Werneria nubigena*) y cadillo (*Bidens
pilosa*)”**

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

AUTOR: Arias Bonilla, Brimson Lincoyan

ASESOR: Zacarias Ventura, Héctor Raúl

HUÁNUCO – PERÚ

2026

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

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

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Contaminación Ambiental

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería Ambiental

Disciplina: Ingeniería Ambiental y Geológica

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título Profesional de Ingeniero(a) ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

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

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 71886143

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 22515329

Grado/Título: Doctor en Ciencias de la Educación

Código ORCID: 0000-0002-7210-5675

DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Cámara Llanos, Frank Erick	Maestro en ciencias de la salud con mención: salud pública y docencia universitaria	44287920	0000-0001-9180-7405
2	Vasquez Baca, Yasser	Máster universitario en planificación territorial y gestión ambiental.	42108318	0000-0002-7136-697X
3	Romero Estacio, Jorge Antonio	Dr. en medio ambiente y desarrollo sostenible	22520481	0009-0000-2063-4076



UNIVERSIDAD DE HUANUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

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

En la ciudad de Huánuco, siendo las 17:30 horas del día 27 del mes de agosto del año 2026, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

- Dr. Frank Erick Camara Llanos (Presidente)
- Mg. Yasser Vasquez Baca (Secretario)
- Mg. Jorge Antonio Romero Estacio (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N° 1452-2026-D-FI-UDH** para evaluar la Tesis intitulada: **"EFECTO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE PLOMO EN LA RESPUESTA MORFOLÓGICA DE LAS ESPECIES HUACATAY (*Tagetes minuta*), CHICORIA BLANCA (*Werneria nubigena*) Y CADILLO (*Bidens pilosa*)"**, presentado por el (la) Bach. **ARIAS BONILLA, BRIMSON LINCOYAN** para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

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

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) APROBADO Por UNANIMIDAD con el calificativo cuantitativo de 11 y cualitativo de SUFICIENTE (Art. 47)

Siendo las 6:30 horas del día 27 del mes de AGOSTO del año 2026, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

Dr. Frank Erick Camara Llanos
DNI: 44287920
ORCID: 0000-0001-9180-7405
Presidente

Mg. Yasser Vasquez Baca
DNI: 42108318
ORCID: 0000-0002-7136-697X
Secretario

Mg. Jorge Antonio Romero Estacio
DNI: 22520481
ORCID: 0009-0000-2063-4076
Vocal



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: **BRIMSON LINCOYAN ARIAS BONILLA**, de la investigación titulada **"EFECTO DE DIFERENTES CONCENTRACIONES DE PLOMO EN LA RESPUESTA MORFOLÓGICA DE LAS ESPECIES HUACATAY (*Tagetes minuta*), CHICORIA BLANCA (*Werneria nubigena*) Y CADILLO (*Bidens pilosa*)"**, con asesor(a): **HÉCTOR RAÚL ZACARÍAS VENTURA**, designado(a) mediante documento: **RESOLUCIÓN N° 2767-2024-D-FI-UDH** del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del **13 %** verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 09 de junio de 2026



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

Nota: La presente constancia tendrá una **vigencia de cuatro (4) meses**, conforme a lo establecido en la **Directiva del Software de Identificación de Similitud y Originalidad**, aprobada mediante **Resolución N° 532-2024-P-CD-UDH**.

Vencido dicho plazo, el solicitante deberá realizar nuevamente el procedimiento correspondiente para la emisión de una nueva constancia.

Válida hasta el 09 de octubre de 2026.

9. BRIMSON LINCOYAN ARIAS BONILLA.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%

INDICE DE SIMILITUD

12%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

1%

2

www.revistas.unitru.edu.pe

Fuente de Internet

1%

3

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

4

anzdoc.com

Fuente de Internet

<1%

5

Submitted to ucss

Trabajo del estudiante

<1%



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA

D.N.I.: 71345687

cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

A mis padres y mis familiares, por el amor, la paciencia y miles de consejos brindados, gracias por estar siempre a mi lado.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad de Huánuco y al Programa Académico de Ingeniería Ambiental, por ser mi segundo hogar durante estos años de formación y brindarme las herramientas necesarias para desarrollarme profesionalmente.

Un agradecimiento especial a mi asesor, el Ing. Hector R. Zacarias Ventura, por su valiosa guía, paciencia y por compartir sus conocimientos técnicos, los cuales han sido fundamentales para culminar con éxito esta investigación sobre el efecto del plomo en nuestras especies regionales.

A mis docentes, quienes con su exigencia y dedicación despertaron en mí la pasión por la investigación ambiental y el compromiso con la preservación de nuestro entorno.

A mis familiares y amigos, por ser el soporte emocional en los momentos de mayor presión académica. Gracias por confiar en mi capacidad y por motivarme a nunca rendirme, este logro también les pertenece.

INDICE

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
INDICE.....	IV
INDICE DE TABLAS.....	VII
INDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	X
INTRODUCCION.....	XI
CAPITULO I.....	12
PROBLEMA DE INVESTIGACION.....	12
1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA.....	12
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	13
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	13
1.2.2. PROBLEMA ESPECIFICO.....	13
1.3. OBJETIVO.....	13
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	13
1.3.2. OBJETIVO ESPECIFICO.....	13
1.4. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION.....	14
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION.....	14
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACION.....	15
CAPITULO II.....	16
MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	16
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	17
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.....	19
2.2. BASES TEORICAS.....	29
2.2.1. NORMAS NACIONALES.....	21
2.2.2. TÉCNICAS DE MONITOREO DE PLOMO.....	22
2.2.3. FUENTES ANTROPOGÉNICAS.....	23
2.2.4. EL PLOMO Y SUS EFECTOS AMBIENTALES.....	23

2.2.5 TOLERANCIA DE LAS ESPECIES VEGETALES	24
2.2.6. HUACATAY (<i>TARGETES MINUTA</i>)	27
2.2.7. CHICORIA BLANCA (<i>WERNERIA NUBIGENA</i>)	30
2.2.8. CADILLO (<i>BIDENS PILOSA</i>)	33
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES	36
2.4. HIPOTESIS	39
2.5. VARIABLES	39
2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE	39
2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE PRINCIPAL	39
2.5.3. VARIABLE DEPENDIENTE SECUNDARIA	39
2.6. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES.....	40
CAPITULO III.....	41
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	41
3.1. TIPO DE INVESTIGACION	41
3.2. ENFOQUE	41
3.3. ALCANCE O NIVEL	41
3.4. DISEÑO	42
3.5. POBLACION Y MUESTRA.....	42
3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	43
3.7. TÉCNICAS PARA PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	45
3.8. PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES DE NITRATO DE PLOMO ($Pb(NO_3)_2$)	45
3.9. PROCEDIMIENTO DE DOSIFICACIÓN DEL PLOMO EN LAS PLANTAS	46
3.9.1. FRECUENCIA Y MOMENTO DE APLICACIÓN	47
3.9.2. PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE PLOMO.....	47
3.9.3. MÉTODO DE APLICACIÓN AL SUSTRATO.....	47
3.9.4. REGISTRO DE OBSERVACIONES MORFOLÓGICAS.....	48
3.9.5. MONITOREO Y SEGUIMIENTO EXPERIMENTAL.....	48
3.10.PROCEDIMIENTO DE DOSIFICACIÓN DEL NITRATO DE PLOMO	48

CAPITULO IV	52
RESULTADOS	52
4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	52
4.2. ANALISIS INFERENCIAL	60
4.2.1. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS	60
4.2.2. NIVEL DE SIGNIFICANCIA	60
4.2.3. PRUEBAS DE SUPUESTOS ESTADÍSTICOS	60
4.2.4. RESULTADOS DEL ANOVA	62
4.2.5. PRUEBA DE COMPARACIÓN	62
4.2.6. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	62
CAPITULO V	65
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	65
CONCLUSIONES.....	68
RECOMENDACIONES.....	70
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	72
ANEXOS	76

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Normas Nacionales Sobre Metales Pesados en Aire, Agua, Suelo y Alimentos.....	21
Tabla 2. Fuentes Antropogénicas Y Naturales Del Plomo	23
Tabla 3. Huacatay	27
Tabla 4. Chicoria Blanca	30
Tabla 5. Cadillo	33
Tabla 6. Operacionalización de variables	40
Tabla 7. Técnicas E Instrumentos De Recolección De Datos	43
Tabla 8. Protocolo de medición de tiempo	44
Tabla 9. Tabla de Dosificación.....	46
Tabla 10. Tabla de Aplicación	47
Tabla 11. Promedio de respuesta morfológica (%)	54
Tabla 12. Clasificación del desarrollo de las plantas según su altura ...	55
Tabla 13. Clasificación del desarrollo foliar	56
Tabla 14. Clasificación del desarrollo radicular	57
Tabla 15. Clasificación de la producción foliar en las plantas	58
Tabla 16. Pruebas de supuestos estadísticos	60
Tabla 17. Análisis de varianza del efecto de la concentración de plomo	61
Tabla 18. Comparación mediante la prueba de Tukey.....	62
Tabla 19. Efecto de la dosificación controlada de plomo	77
Tabla 20. Recolección de datos Inicial de la especie Huacatay	81
Tabla 21. Recolección de datos final de la especie Huacatay	82
Tabla 22. Recolección de datos inicial de la especie Cadillo	83
Tabla 23. Recolección de datos final de la especie Cadillo	84
Tabla 24. Recolección de datos inicial de la especie Chicoria Blanca ..	85
Tabla 25. Recolección de datos final de la especie Chicoria Blanca	86

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Huacatay (<i>Tagetes minuta</i>)	27
Figura 2. Chicoria Blanca (<i>Werneria nubigena</i>)	30
Figura 3. Cadillo (<i>Bidens Pilosa</i>)	33
Figura 4. Análisis de crecimiento longitudinal	55
Figura 5. Análisis de sintomatología cromática	56
Figura 6. Análisis de desarrollo radicular	57
Figura 7. Análisis de producción foliar	58
Figura 8. Respuesta morfológica de las especies	59
Figura 9. Huacatay Dosificación de 50 ppm	87
Figura 10. Cadillo Dosificación de 50 ppm	87
Figura 11. Chicoria Blanca Dosificación de 50 ppm	88
Figura 12. Huacatay Dosificación de 100 ppm	88
Figura 13. Cadillo Dosificación de 100 ppm	89
Figura 14. Chicoria Blanca Dosificación de 100 ppm	89
Figura 15. Huacatay Dosificación de 150 ppm	90
Figura 16. Cadillo Dosificación de 150 ppm	90
Figura 17. Chicoria Blanca Dosificación de 150 ppm	91
Figura 18. Huacatay Dosificación de 200 ppm	91
Figura 19. Cadillo Dosificación de 200 ppm	92
Figura 20. Chicoria Blanca Dosificación de 200 ppm	92
Figura 21. Agua destilada y Probeta	93
Figura 22. Balanza Analítica	93
Figura 23. EPP	93
Figura 24. Medición de 50 ppm	94
Figura 25. Medición de 100 ppm	94
Figura 26. Medición de 150 ppm	95
Figura 27. Medición de 200 ppm	95
Figura 28. Monitoreo de Huacatay.....	96
Figura 29. Monitoreo de Cadillo	96
Figura 30. Monitoreo de Chicoria Blanca	96
Figura 31. Visita del Asesor asignado	97
Figura 32. Observación del Asesor asignado	97

RESUMEN

La presente investigación titulada “Efecto de la dosificación controlada de plomo en el crecimiento y respuesta morfológica de las especies Huacatay (*Tagetes minuta*), Chicoria Blanca (*Werneria nubigena*) y Cadillo (*Bidens pilosa*)” tuvo como objetivo evaluar la tolerancia de estas especies vegetales frente a diferentes concentraciones de plomo (Pb). El estudio se desarrolló considerando la problemática de contaminación de suelos por metales pesados en la región de Huánuco, la cual afecta el desarrollo de la vegetación y el equilibrio de los ecosistemas.

La investigación fue de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y diseño experimental. Se evaluaron tres especies vegetales sometidas a cinco niveles de concentración de plomo en el sustrato (0, 50, 100, 150 y 200 ppm) mediante la aplicación de nitrato de plomo en condiciones controladas. Durante el periodo experimental se registraron variables morfológicas relacionadas con el crecimiento vegetal, tales como altura de la planta, número de hojas, desarrollo radicular y cambios en la coloración foliar.

Para el análisis estadístico de los datos se aplicó el Análisis de Varianza (ANOVA), con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Los resultados evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$), demostrando que el incremento en la concentración de plomo genera efectos negativos en el crecimiento y desarrollo de las especies evaluadas.

Entre las especies analizadas, *Bidens pilosa* presentó mayor tolerancia frente a las concentraciones elevadas de plomo, mientras que *Werneria nubigena* mostró mayor sensibilidad al metal pesado. Estos resultados permiten identificar especies con potencial para futuras estrategias de fitorremediación de suelos contaminados.

Palabras clave: plomo, metales pesados, crecimiento vegetal, contaminación del suelo, fitorremediación, *Bidens pilosa*.

ABSTRACT

The present research entitled “Effect of controlled lead dosage on the growth and morphological response of the species Huacatay (*Tagetes minuta*), Chicoria Blanca (*Werneria nubigena*), and Cadillo (*Bidens pilosa*)” aimed to evaluate the tolerance of these plant species to different concentrations of lead (Pb). The study was conducted considering the problem of soil contamination by heavy metals in the Huánuco region, which affects vegetation development and ecosystem balance.

The research was applied in nature, with a quantitative approach and an experimental design. Three plant species were evaluated under five levels of lead concentration in the substrate (0, 50, 100, 150, and 200 ppm) through the application of lead nitrate under controlled conditions. During the experimental period, morphological variables related to plant growth were recorded, including plant height, number of leaves, root development, and changes in leaf coloration.

For the statistical analysis of the data, Analysis of Variance (ANOVA) was applied with a significance level of $\alpha = 0.05$. The results showed statistically significant differences between treatments ($p < 0.05$), demonstrating that increasing lead concentrations generate negative effects on the growth and development of the evaluated species.

Among the analyzed species, *Bidens pilosa* showed greater tolerance to high lead concentrations, while *Werneria nubigena* exhibited higher sensitivity to this heavy metal. These findings contribute to the identification of plant species with potential for phytoremediation strategies in contaminated soils.

Keywords: lead, heavy metals, plant growth, soil contamination, phytoremediation, *Bidens pilosa*.

INTRODUCCION

La contaminación de suelos por metales pesados constituye uno de los problemas ambientales más importantes a nivel mundial, debido a su persistencia en el ambiente y a los efectos adversos que generan sobre los ecosistemas. Entre estos contaminantes, el plomo (Pb) destaca por su elevada toxicidad y por su presencia en zonas afectadas por actividades de origen antropogénico. En la región de Huánuco, diversas actividades humanas han contribuido al incremento de este metal en el ambiente, generando alteraciones en las condiciones naturales del suelo y afectando el desarrollo de la vegetación.

Ante esta problemática, resulta importante comprender cómo responden las especies vegetales locales frente a la presencia de metales pesados. Algunas plantas poseen mecanismos fisiológicos y morfológicos que les permiten tolerar determinadas concentraciones de contaminantes, lo que les permite desarrollarse en ambientes perturbados. El estudio de estas respuestas vegetales contribuye a generar conocimiento sobre la interacción entre las plantas y los metales pesados presentes en el suelo.

En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de diferentes concentraciones de plomo (Pb) en la respuesta morfológica de las especies vegetales Huacatay (*Tagetes minuta*), Chicoria blanca (*Werneria nubigena*) y Cadillo (*Bidens pilosa*) bajo condiciones experimentales controladas. Para ello se analizaron indicadores de crecimiento y desarrollo vegetal como la altura de la planta, el número de hojas, la coloración foliar y el estado del sistema radicular.

Los resultados evidenciaron que las especies evaluadas lograron mantenerse vivas durante el periodo experimental incluso en las concentraciones más altas de plomo. Sin embargo, se observaron alteraciones morfológicas progresivas conforme aumentó la concentración del metal pesado, manifestadas en la reducción del crecimiento, disminución del vigor vegetal y cambios en la coloración de las hojas.

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

A nivel global, la contaminación de suelos por metales pesados se ha convertido en uno de los principales desafíos ambientales, debido a su persistencia en el ambiente y a los efectos adversos que generan sobre los ecosistemas. Entre estos contaminantes, el plomo (Pb) destaca por su elevada toxicidad, su baja movilidad en el suelo y su carácter no biodegradable, lo que favorece su acumulación a lo largo del tiempo. En la región de Huánuco, diversas actividades de origen antropogénico, como el crecimiento urbano, la inadecuada disposición de residuos y otras actividades humanas, han contribuido al incremento de este metal pesado en el ambiente, generando alteraciones en las condiciones naturales del suelo.

La presencia de plomo en el suelo puede afectar el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que este metal interfiere en diversos procesos fisiológicos, como la absorción de nutrientes, el desarrollo radicular y la actividad fotosintética. Estas alteraciones pueden manifestarse a través de cambios morfológicos visibles en las plantas, tales como reducción del crecimiento, disminución del vigor vegetal y alteraciones en la coloración foliar. Sin embargo, algunas especies vegetales poseen mecanismos de adaptación que les permiten tolerar determinadas concentraciones de metales pesados presentes en el suelo.

En este contexto, surge la necesidad de evaluar cómo diferentes concentraciones de plomo afectan el crecimiento y desarrollo morfológico de estas especies vegetales bajo condiciones experimentales controladas. El análisis de esta respuesta permitirá generar información científica relevante sobre la interacción entre las plantas y la presencia de metales pesados en el suelo, contribuyendo al conocimiento sobre la tolerancia de especies vegetales locales frente a este tipo de contaminantes.

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es el efecto de diferentes concentraciones de plomo (Pb) en la respuesta morfológica de las especies vegetales Huacatay (*Tagetes minuta*), Chicoria blanca (*Werneria nubigena*) y Cadillo (*Bidens pilosa*) bajo condiciones experimentales?

1.2.2. PROBLEMA ESPECIFICO

¿De qué manera influyen las concentraciones de 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm y 200 ppm de plomo en las especies *Tagetes minuta*, *Werneria nubigena* y *Bidens pilosa*?

¿Existen diferencias en la respuesta morfológica de las especies *Tagetes minuta*, *Werneria nubigena* y *Bidens pilosa* frente a diferentes concentraciones de plomo?

¿Cuál es el nivel de tolerancia al plomo que presentan las especies *Tagetes minuta*, *Werneria nubigena* y *Bidens pilosa* bajo condiciones experimentales?

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de diferentes concentraciones de plomo en la respuesta morfológica de las especies *Tagetes minuta* (huacatay), *Werneria nubigena* (chicoria blanca) y *Bidens pilosa* (cadillo) bajo condiciones experimentales.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

Determinar el efecto de las concentraciones de 50, 100, 150 y 200 ppm de plomo en las especies *Tagetes minuta*, *Werneria nubigena* y *Bidens pilosa*.

Evaluar las respuestas morfológicas de las especies *Tagetes minuta*, *Werneria nubigena* y *Bidens pilosa* frente a diferentes concentraciones de plomo.

Comparar la tolerancia al plomo entre las especies *Tagetes minuta*, *Werneria nubigena* y *Bidens pilosa* bajo condiciones experimentales.

1.4. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

La investigación se justifica por la necesidad de generar información científica sobre la respuesta de especies vegetales frente a la presencia de metales pesados en el suelo. El plomo (Pb) es un contaminante persistente que puede afectar el crecimiento y desarrollo de las plantas, generando alteraciones en sus procesos fisiológicos y morfológicos.

En este contexto, el estudio de las especies *Tagetes minuta*, *Werneria nubigena* y *Bidens pilosa*, presentes en la región de Huánuco, permite evaluar su respuesta morfológica frente a diferentes concentraciones de plomo bajo condiciones experimentales. Los resultados contribuyen a ampliar el conocimiento sobre la tolerancia de estas especies frente a este contaminante.

Asimismo, la investigación aporta información relevante para futuras investigaciones relacionadas con el manejo ambiental de suelos potencialmente contaminados y el estudio de especies vegetales adaptadas a condiciones adversas del suelo.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION

El desarrollo de la presente investigación presentó algunas limitaciones.

En primer lugar, existe escasa información científica local sobre la respuesta de las especies *Tagetes minuta*, *Werneria nubigena* y *Bidens pilosa* frente a la exposición al plomo.

En segundo lugar, las limitaciones económicas del estudio restringieron la realización de análisis de laboratorio para determinar la concentración de plomo en los tejidos vegetales.

Finalmente, el número de unidades experimentales utilizadas fue limitado debido a las condiciones logísticas del trabajo experimental.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACION

La viabilidad de la presente investigación se sustentó en la disponibilidad de los recursos necesarios para el desarrollo del experimento. Se contó con un espacio adecuado para la instalación de las macetas y el monitoreo constante de las especies vegetales, lo que permitió realizar el proceso experimental de manera continua y controlada.

En cuanto a los recursos materiales, el estudio fue factible debido a la facilidad para recolectar las especies *Tagetes minuta*, *Werneria nubigena* y *Bidens pilosa* en su entorno natural dentro de la región de Huánuco. Asimismo, los insumos químicos y herramientas de medición necesarios para el desarrollo del experimento fueron adquiridos de manera independiente.

Desde el punto de vista económico, el proyecto fue financiado por el autor, lo que permitió cubrir los costos relacionados con los reactivos, materiales experimentales y equipos básicos utilizados durante el desarrollo del estudio.

Finalmente, la viabilidad operativa se garantizó mediante el cumplimiento de un cronograma de observación y registro de datos durante el periodo experimental, lo que permitió realizar el seguimiento del crecimiento y desarrollo morfológico de las plantas expuestas a diferentes concentraciones de plomo.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Rodríguez y Gómez (2023) “Evaluación de la Capacidad de Fitorremediación de *Brassica juncea* en Suelos Contaminados con Plomo y Cadmio en Áreas Mineras de Chile”. Utilizó la especie *Brassica juncea* en suelos contaminados con plomo y cadmio en zonas afectadas por la actividad minera. El objetivo era determinar su capacidad de absorción y acumulación de estos metales pesados. Utilizando como metodología un ensayo en invernadero con diferentes concentraciones de contaminación y análisis de espectrometría de absorción atómica. Como resultado, la especie mostró una alta acumulación de plomo en su biomasa aérea y una moderada absorción de cadmio. Llegó a la conclusión de que *Brassica juncea* es una planta con potencial para la fitorremediación de suelos contaminados con plomo, especialmente cuando se combina con enmiendas orgánicas que mejoran su eficiencia de absorción.

Pérez y Salazar (2021) “Fitorremediación de Suelos Contaminados con Plomo Mediante el Uso de *Helianthus annuus* en Áreas Urbanas de México”. Utilizó *Helianthus annuus* (girasol) en suelos urbanos con altos niveles de plomo, el objetivo era evaluar su capacidad de acumulación y su viabilidad en ambientes urbanos contaminados. Utilizando como metodología un experimento a campo abierto con mediciones de concentración de plomo en raíces y hojas mediante espectrofotometría de absorción atómica. Como resultado, la especie presentó un alto factor de bioconcentración en raíces y una moderada translocación a la parte aérea. Llegó a la conclusión de que *Helianthus annuus* puede ser utilizado para la fitorremediación de suelos urbanos contaminados con plomo, pero se recomienda combinar su uso con estrategias de estabilización química para reducir la movilidad del metal.

Ramírez y Torres (2020) “Capacidad de Fitorremediación de *Zea mays* L. en Suelos Contaminados con Metales Pesados en la Región Andina”. Utilizó *Zea mays* L. (maíz) en suelos agrícolas contaminados con metales pesados como plomo y cadmio. El objetivo era determinar su capacidad de absorción de metales y evaluar los efectos de la contaminación en su crecimiento. Utilizando como metodología un experimento de campo con análisis de crecimiento vegetal y espectrometría de masas para medir la concentración de metales en tejidos vegetales. Como resultado, el maíz mostró una alta tolerancia a la contaminación y una acumulación significativa de plomo en sus raíces, pero una baja translocación a la parte aérea. Llegó a la conclusión de que, si bien *Zea mays* L. no es una hiperacumuladora, su rápido crecimiento y alta producción de biomasa la convierten en una opción viable para la fitorremediación asistida con agentes quelantes.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Huaman (2021) en su tesis titulada “Fitorremediación con la especie vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) para mejorar la calidad ambiental del agua del canal de riego CIMIRM en el distrito de Hualhuas, región Junín, 2021”. Utilizó la especie vegetal *Chrysopogon zizanioides* (vetiver) en aguas con presencia de metales pesados y carga orgánica. El objetivo fue evaluar la capacidad de esta especie para mejorar los parámetros de calidad ambiental del agua. Utilizando como metodología un diseño cuasi-experimental con un sistema de fitorremediación (estanque), donde se midieron las concentraciones de metales y otros parámetros antes y después del tratamiento mediante análisis de laboratorio. Como resultado, se encontró que la especie vetiver logró una remoción significativa de contaminantes, mejorando la calidad del agua para riego. Llegó a la conclusión de que la fitorremediación con especies de alta biomasa y resistencia es una alternativa

técnica y ambientalmente viable para el tratamiento de aguas y suelos impactados.

Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) (2021) “Evaluación de la capacidad fitorremediadora de tres especies altoandinas en suelos contaminados por drenaje ácido de roca”. Utilizó tres especies vegetales altoandinas (*Calamagrostis vicunarum*, *Lupinus mutabilis* y *Baccharis latifolia*) en suelos afectados por drenaje ácido de roca (DAR). El objetivo era evaluar su capacidad de fitorremediación y la influencia del biochar en la absorción de metales pesados. Utilizando como metodología experimentos en suelos contaminados con DAR, aplicando diferentes dosis de biochar y midiendo la retención de metales con espectrofotometría de absorción atómica. Como resultado, se encontró que *Lupinus mutabilis* mostró la mayor capacidad de acumulación de metales pesados. Llegó a la conclusión de que la adición de biochar mejora significativamente la eficiencia de fitorremediación en suelos altoandinos.

Guevara (2020) “Uso de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y azolla (*Azolla filiculoides*) en la remoción de cadmio de aguas contaminadas”. Utilizó *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) y *Azolla filiculoides* en cuerpos de agua contaminados con cadmio. El objetivo era evaluar la eficiencia de estas especies en la remoción de cadmio. Utilizando como metodología experimentos en condiciones controladas, donde ambas especies fueron expuestas a diferentes concentraciones de cadmio, midiendo la reducción del metal en el agua mediante espectrofotometría de absorción atómica. Como resultado, se encontró que *Azolla filiculoides* presentó una mayor eficiencia en la eliminación del metal. Llegó a la conclusión de que estas especies son altamente eficientes para la biorremediación de cuerpos de agua contaminados con cadmio.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Paredes (2021) “Efecto de la fitorremediación con dos variedades de ortiga (*Urtica urens* L.) y (*Urtica dioica* L.) en la calidad del suelo usado como botadero a cielo abierto, Marabamba, provincia y departamento de Huánuco - 2021”. Utilizó dos variedades de la especie *Urtica* en suelos degradados por residuos sólidos. El objetivo fue demostrar el efecto de la fitorremediación en la calidad del suelo y la reducción de metales. Utilizando como metodología un diseño experimental con cuatro repeticiones, donde se analizaron los indicadores químicos y la concentración de metales mediante ensayos de laboratorio. Como resultado, se encontró que la especie *Urtica urens* L. tuvo un efecto significativo en la reducción de metales pesados como el plomo (Pb) y cadmio (Cd). Llegó a la conclusión de que estas especies poseen una capacidad eficiente para la recuperación de suelos contaminados en contextos locales de la región Huánuco.

Castañeda (2024), “*Capacidad fitorremediadora de las especies Brassica napus y Helianthus annuus en suelos contaminados por plomo en el distrito de Amarilis, Huánuco - 2024*”, presentada en la Universidad de Huánuco. El estudio tuvo como objetivo evaluar el potencial de estas especies para la absorción de plomo en condiciones controladas. La metodología fue de tipo aplicada con un diseño experimental, empleando diferentes concentraciones del metal. Los resultados indicaron que ambas especies muestran una notable capacidad de bioacumulación, siendo el *Helianthus annuus* el de mayor eficiencia. El autor concluyó que el uso de plantas con alta biomasa es una estrategia efectiva para la recuperación de suelos agrícolas impactados por metales pesados en la región, lo cual sustenta la viabilidad de utilizar flora con características similares para la remediación ambiental.

Daga y Atavillos (2024), “*Capacidad fitorremediadora de las especies *Raphanus sativus* y *Spinacia oleracea* en suelos contaminados por plomo en el distrito de Amarilis, Huánuco - 2024*”, presentada en la Universidad de Huánuco. El objetivo de la investigación fue determinar la capacidad de absorción de plomo de ambas especies en suelos agrícolas. Utilizaron una metodología experimental con diferentes concentraciones de plomo bajo condiciones controladas. Los resultados indicaron que ambas especies tienen la capacidad de bioacumular el metal en sus tejidos, siendo el *Raphanus sativus* el que mostró mayores niveles de remoción. Los autores concluyeron que estas especies son alternativas viables para la fitorremediación de suelos impactados por actividades antrópicas en la región Huánuco, lo que respalda los hallazgos de la presente investigación sobre la resistencia de la flora local ante el plomo.

2.2. BASES TEORICAS

La siguiente sección contiene los fundamentos teóricos del estudio " Efecto de diferentes concentraciones de plomo en la respuesta morfológica de las especies huacatay (*Tagetes minuta*), chicoria blanca (*Werneria nubigena*) y cadillo (*Bidens pilosa*)”

2.2.1. NORMAS NACIONALES SOBRE METALES PESADOS EN AIRE, AGUA, SUELO Y ALIMENTOS

Tabla 1

Normas Nacionales Sobre Metales Pesados en Aire, Agua, Suelo y Alimentos

NOMBRE DE LA NORMA	AÑO	DESCRIPCIÓN	INSTITUCIÓN
Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM (ECA Suelo)	2017	Establece los Estándares de Calidad Ambiental para suelo, incluyendo límites de plomo en suelos agrícolas y residenciales.	Ministerio del Ambiente (MINAM)
Decreto Supremo N.º 015-2015-MINAM (ECA Agua)	2015	Establece los valores máximos permitidos de plomo en cuerpos de agua, diferenciando usos como consumo humano, riego, etc.	MINAM
Decreto Supremo N.º 003-2017-SA (LMR de metales pesados en alimentos)	2017	Regula los Límites Máximos de Residuos de contaminantes como el plomo en alimentos procesados y vegetales.	Ministerio de Salud (MINSA)
Decreto Supremo N.º 003-2008-SA (Calidad del aire)	2008	Establece los valores límites permisibles para metales pesados, incluido el plomo, en el aire.	MINSA / Dirección General de Salud Ambiental

Nota. Elaborado a partir de información del MINAM (2015, 2017) y MINSA (2008, 2017).

2.2.2. TÉCNICAS REFERENCIALES PARA EL MONITOREO DE PLOMO EN TEJIDOS VEGETALES

Diversos estudios sobre contaminación por metales pesados emplean técnicas analíticas especializadas para determinar la presencia y concentración de plomo en tejidos vegetales. Estos métodos permiten evaluar procesos de bioacumulación y translocación del metal en raíces, tallos y hojas. En el presente estudio no se realizaron análisis químicos de laboratorio para cuantificar plomo en tejidos vegetales; sin embargo, se describen algunos métodos utilizados frecuentemente en investigaciones relacionadas con metales pesados y fitorremediación.

- Espectroscopía de absorción atómica (AAS): Método común y preciso para cuantificar plomo en raíces, tallos y hojas secas, previa digestión ácida.
- Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS): Técnica avanzada y muy sensible que permite identificar niveles bajos de plomo en muestras vegetales.
- XRF portátil (Fluorescencia de rayos X): Técnica no destructiva que permite análisis preliminar in situ de elementos pesados.

Análisis por digestión húmeda + colorimetría: Alternativa accesible para laboratorios con bajo presupuesto, útil para fines comparativos.

2.2.3 FUENTES ANTROPOGÉNICAS Y NATURALES DEL PLOMO

Tabla 2

Fuentes Antropogénicas Y Naturales Del Plomo

ANTROPOGÉNICAS	NATURALES
Industrias metalúrgicas y mineras: Especialmente en zonas de extracción de minerales como Cerro de Pasco o La Oroya.	Erosión de rocas con contenido de galena (PbS): Liberación de plomo natural por meteorización.
Quema de combustibles fósiles y emisiones vehiculares antiguas (antes del uso de gasolina sin plomo).	Actividades volcánicas: Que liberan metales pesados al ambiente.
Pinturas y productos con plomo: Como esmaltes, baterías, soldaduras y cañerías antiguas. Residuos electrónicos y basura urbana no tratada: Contaminan el suelo al ser expuestos al medio ambiente.	Depósitos geológicos de origen natural: Que pueden lixiviar metales hacia el agua subterránea.

Nota. Elaboración basada en fuentes de Sánchez et al. (2021) y Gunnar (2018).

2.2.4 EL PLOMO Y SUS EFECTOS AMBIENTALES

El plomo (Pb) es un metal pesado altamente tóxico que proviene principalmente de actividades industriales, combustibles fósiles, baterías y pinturas antiguas. En el suelo, el plomo puede persistir por largos períodos, afectando la calidad del sustrato y limitando el crecimiento de la vegetación. Su toxicidad radica en su capacidad de bioacumulación y su interferencia en procesos fisiológicos esenciales en plantas y animales (Crisanto Gómez et al., 2022).

La contaminación por plomo de los combustibles ha sido la causa más importante de toxicidad por plomo a nivel de la población.

En 1920, se desarrolló el tetraetilo de plomo como agente antidetonante de la gasolina porque algunas gasolinas contenían de 0 a 1 g de plomo por litro. Según estimaciones, la actividad humana

ha provocado que los niveles de plomo en el medio ambiente aumenten más de 1000 veces en los últimos tres siglos. El período comprendido entre la década de 1950 y la década de 2000 experimentó el mayor aumento, que fue el resultado del aumento del uso mundial de gasolina con plomo (Guerra 2018).

Las concentraciones de plomo en el aire pueden exceder el nivel seguro en ciudades con altos niveles de tráfico, alcanzando los 10 g por metro cúbico de aire. El uso de combustible con plomo se ha limitado en los últimos años.

Las ventas de gasolina con plomo fueron prohibidas por la Directiva de la UE 98/70/EC a partir del 1 de enero de 2000 (aunque la implementación práctica estuvo sujeta a varias moratorias). La década de 1970 vio el comienzo de la prohibición del plomo rojo (tetróxido de plomo), que se usaba para proteger los metales de la oxidación (Guerra 2018).

Actualmente, la cantidad de plomo en el aire varía de 2 a 4 g/m³ en las grandes ciudades con mucho tráfico a menos de 0 g/m³ en los suburbios e incluso menos en las zonas rurales⁵. En la medicina ayurvédica, el plomo y otros metales como el mercurio y el arsénico se pueden encontrar en una variedad de medicamentos (Guerra 2018).

2.2.5 TOLERANCIA DE LAS ESPECIES VEGETALES

Debido al continuo deterioro de los recursos naturales provocado por los diversos contaminantes tóxicos orgánicos e inorgánicos que se encuentran en la atmósfera, el agua, el suelo y el subsuelo como resultado de diversas actividades antrópicas y naturales, el medio ambiente sufre un daño permanente. el ecologismo es uno de ellos. uno de los temas más evidentes a los que se enfrenta la sociedad actual, ocupando un lugar destacado entre los temas sociales y políticos. (Paredes, 2021).

La contaminación por metales pesados en el medio ambiente se ha visto significativamente exacerbada por la rápida

industrialización y el crecimiento demográfico que han estado implementando las naciones desarrolladas y en desarrollo. Debido a su migración a suelos no contaminados y su mayor concentración en el medio ambiente, degrada la calidad del suelo, el aire y el agua (Paredes, 2021).

Por lo tanto, mediante el uso de prácticas agrícolas, procesos industriales, minería, fundiciones, aguas residuales, procesos nucleares y manufactura inadecuados, la mayor parte de la contaminación por metales pesados que daña el medio ambiente ha sido causada por el hombre. una amplia gama. bienes, tales como baterías, componentes eléctricos, aleaciones metálicas, fertilizantes, pesticidas y productos para el control de plagas. Como resultado, es lógico que la contaminación por metales pesados se encuentre entre los tipos de contaminación ambiental más dañinos. A diferencia de la mayoría de los contaminantes orgánicos, que se degradan biológica o químicamente en la naturaleza, los metales pesados, la mayoría de los cuales no tienen ningún propósito metabólico particular en los seres vivos, alteran la composición y el funcionamiento de los ecosistemas. (Paredes, 2021).

Para que las células funcionen correctamente, se necesitan metales pesados como el zinc y el hierro, mientras que el plomo y el cadmio no son necesarios para los seres humanos, los animales, las plantas o los organismos del suelo. Como contaminantes prioritarios altamente tóxicos, el plomo y el cadmio son extremadamente dañinos (Paredes, 2021).

Pero mientras se usa en procesos industriales, el plomo también se desecha como producto de desecho y, con frecuencia, se transporta con las aguas residuales. En estas circunstancias, normalmente se encuentra en una reacción de equilibrio con otros metales, como el cadmio, que también se produce a través de procesos industriales. Estas aguas residuales son cruciales como sustituto del agua de suministro. Con el fin de ahorrar agua y

proporcionar ventajas financieras, se utiliza para el riego en la agricultura. (Paredes, 2021).

La presencia de metales pesados en el suelo puede afectar diversos procesos fisiológicos en las plantas, incluyendo la absorción de nutrientes, el crecimiento radicular y el desarrollo vegetal. Estas alteraciones pueden manifestarse mediante cambios morfológicos como la reducción del crecimiento, clorosis foliar y disminución del vigor vegetal (Kabata Pendias, 2011)

Por su valor económico, nutricional y terapéutico, la industria agrícola debe prestar especial atención a esto. Estos vegetales son una fuente importante de vitaminas, minerales, energía y fibra, por lo que comerlos es muy saludable para la mayoría de las personas, según estudios científicos (Kabata Pendias, 2011)

El plomo y el cadmio se bioacumulan en diferentes concentraciones, lo que dependerá de la especie vegetal y de las características y concentraciones de éstas en el suelo. Esto se debe a que estos metales se incorporan a las cadenas alimentarias, particularmente a través de estos cultivos que absorben agua de riego contaminada. El consumo de vegetales cultivados en agua contaminada con plomo y cadmio tiene efectos en la salud a corto y largo plazo, incluidos daños en los órganos reproductivos, cardiovasculares, gastrointestinales y neurológicos, así como efectos específicos en los riñones, los huesos y los pulmones debido a la acumulación (Kabata Pendias, 2011)

Teniendo todo eso en cuenta, tenemos a nuestras 3 especies principales para este experimento:

2.2.6. HUACATAY (TAGETES MINUTA)

Figura 1
Huacatay



Tabla 3
Huacatay

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Asterales
Familia	Asteraceae
Género	Tagetes
Especie	Tagetes minuta

Nota. Imagen extraída de GBIF (Global Biodiversity Information Facility), 2023.

La *Tagetes minuta*, conocida en diferentes regiones como "chinchilla", "huacatay", "paico" o "mimosa negra", es una planta herbácea anual de la familia Asteraceae. Originaria de América del Sur, se ha adaptado a una variedad de climas y suelos, y actualmente está distribuida por todo el mundo. Es valorada por su aroma distintivo, sus propiedades medicinales y su utilidad en la agricultura como bioinsecticida natural. Su cultivo es común en los Andes y ha ganado popularidad en regiones de África y Asia debido a sus beneficios multifuncionales (Espinoza-Echevarria, 2022)

El nombre científico del huacatay, *Tagetes minuta*, fue establecido por Carlos Linneo en 1753. Pertenece a la familia Asteraceae, tribu Tageteae, y se clasifica en el orden Asterales. Se considera una especie originaria de los Andes sudamericanos, particularmente de Perú, Bolivia y Ecuador, aunque su cultivo y uso se han extendido a nivel global. En países africanos, como Sudáfrica, se la conoce como "khaki bush" y se utiliza tanto en la medicina tradicional como en la agricultura sostenible (Espinoza-Echevarria, 2022)

Es una planta de porte erecto que puede alcanzar alturas de 5 a 15 cm. Sus hojas son pinnadas y aromáticas, mientras que sus flores, pequeñas y de color amarillo pálido, se agrupan en capítulos. Su sistema radicular es extenso, lo que le permite adaptarse a suelos pobres y secos. La planta produce un aroma característico debido a la presencia de glándulas productoras de aceites esenciales en sus hojas y tallos. Estos aceites son los responsables de sus propiedades repelentes e insecticidas (Espinoza-Echevarria, 2022)

La planta contiene una rica mezcla de compuestos bioactivos, destacando entre ellos:

- ✚ Aceites esenciales: Con componentes como la tagetona, ocimeno, limoneno y alfa-terpineno. Estos compuestos tienen propiedades antimicrobianas, antiinflamatorias y repelentes de insectos.
- ✚ Flavonoides y lactonas sesquiterpénicas: Importantes por sus efectos antioxidantes y medicinales.
- ✚ Taninos y terpenoides: Contribuyen a su actividad insecticida y protectora del suelo (Espinoza-Echevarria, 2022)

Tradicionalmente, *Tagetes minuta* se ha utilizado como planta medicinal en infusiones para tratar dolencias gastrointestinales, dolores de cabeza, resfriados y como antiparasitario. En la medicina moderna, se ha investigado su potencial en el tratamiento de infecciones bacterianas y fúngicas debido a la presencia de aceites esenciales con propiedades antimicrobianas. Además, se le atribuyen propiedades antiinflamatorias que pueden ser útiles en el tratamiento de afecciones crónicas como la artritis (Espinoza-Echevarria, 2022)

Esta especie también ha sido usada para usos agrícolas:

- ✚ Control biológico de plagas: Es conocida por su capacidad para repeler insectos y nematodos dañinos en cultivos agrícolas.
- ✚ Los aceites esenciales actúan como repelentes naturales, lo que la convierte en una alternativa sostenible a los pesticidas químicos.
- ✚ Mejora del suelo: Se utiliza como planta de cobertura para prevenir la erosión y mejorar la fertilidad del suelo al tiempo que actúa como biofumigante (Valencia, 2016).
- ✚ Producción de compost: Su incorporación en abonos orgánicos aporta nutrientes esenciales y ayuda a controlar patógenos del suelo.

En la gastronomía andina, las hojas frescas de *Tagetes minuta*, conocidas como huacatay, son empleadas como condimento en platos tradicionales, como el ají de huacatay y salsas verdes. Su aroma y sabor únicos enriquecen diversas preparaciones. Además, en ciertas comunidades indígenas se la utiliza en rituales ceremoniales como planta sagrada (Espinoza-Echevarria, 2022)

Tagetes minuta es fácil de cultivar en climas templados y tropicales, prefiriendo altitudes de 500 a 3000 metros sobre el nivel del mar. Es resistente a condiciones adversas y se adapta a suelos marginales. Su rápido crecimiento la convierte en una planta útil para proyectos de reforestación y control de la erosión. Sin embargo, en ciertas regiones, se ha convertido en una especie invasora, desplazando a flora nativa debido a su agresivo crecimiento (Espinoza-Echevarria, 2022)

A pesar de sus múltiples beneficios, *Tagetes minuta* contiene compuestos que pueden ser tóxicos si se consumen en exceso. Los aceites esenciales en altas concentraciones pueden causar

irritaciones en la piel y reacciones alérgicas. Además, su uso prolongado en el suelo puede afectar el microbiota beneficioso.

Por estas razones, se recomienda un manejo responsable tanto en su aplicación agrícola como en su consumo medicinal (Espinoza-Echevarria, 2022)

El huacatay (*Tagetes minuta*) es una planta versátil y multifacética con aplicaciones en medicina, gastronomía y agricultura. Su capacidad para adaptarse a diversas condiciones la convierte en un recurso valioso en regiones rurales y urbanas. Sin embargo, su manejo debe ser adecuado para evitar posibles efectos negativos en el medio ambiente y en la salud humana.

2.2.7 CHICORIA BLANCA (WERNERIA NUBIGENA)

Figura 2
Chicoria Blanca



Tabla 4
Chicoria Blanca

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Asterales
Familia	Asteraceae
Género	Werneria
Especie	Werneria nubigena

Nota. Imagen extraída de GBIF (Global Biodiversity Information Facility), 2023.

La *Werneria nubigena*, comúnmente conocida como Chicoria blanca o paja de páramo, es una planta perenne que pertenece a la familia Asteraceae. Es originaria de las zonas altoandinas de Sudamérica, especialmente en las regiones de Perú, Ecuador y Bolivia, donde crece en altitudes elevadas y en suelos húmedos de páramo. Esta especie es apreciada por su adaptabilidad a condiciones extremas de frío y humedad, así como por su valor ornamental en jardines de altura (Calvo, 2020).

El género *Werneria* fue nombrado en honor al botánico alemán Alois von Werner, quien hizo importantes contribuciones al estudio de la flora de los Andes. Este género incluye varias especies, muchas de las cuales son endémicas de los ecosistemas de páramo de los Andes. *Werneria nubigena* es una de las más grandes y visibles dentro del género, y se caracteriza por sus flores de color blanco que forman densas inflorescencias en sus extremos (Calvo, 2020).

Werneria nubigena es una planta herbácea que puede alcanzar una altura de hasta 2 metros. Sus hojas son grandes, de forma lanceolada, y están cubiertas por una capa de vellosidad que les otorga una textura rugosa. Las flores son blancas y están dispuestas en densas espigas terminales, apareciendo en las estaciones más frías, lo que permite a la planta resistir las heladas ligeras. Los frutos son pequeños aquenios que se dispersan por el viento, lo que facilita la colonización de nuevos (Calvo, 2020).

Esta especie se encuentra principalmente en los páramos de la zona central y sur de los Andes, donde crece en suelos húmedos y bien drenados, en condiciones de alta radiación solar y bajas temperaturas. Su adaptabilidad le permite prosperar en condiciones de clima frío, por lo que es común encontrarla en jardines de altura y en proyectos de restauración ecológica en áreas montañosas (Calvo, 2020).

Esta especie también posee usos ornamentales y ecológicos:

🌱 **Jardinería:** *Werneria nubigena* es valorada como planta ornamental en jardines de altura, especialmente en regiones andinas. Su resistencia a las heladas y su capacidad para prosperar en suelos húmedos y pobres la hacen ideal para jardines en zonas frías. Además, sus flores blancas ofrecen un atractivo visual en paisajes montañosos.

 Conservación: En su región de origen, *Werneria nubigena* juega un papel importante en la estabilidad de los suelos de páramo, previniendo la erosión y favoreciendo la retención de agua en el suelo. También es una fuente importante de néctar para polinizadores locales, como abejas y mariposas (Calvo, 2020).

Aunque *Werneria nubigena* es principalmente ornamental, estudios recientes sugieren que algunas especies dentro del género *Werneria* podrían tener propiedades antioxidantes, aunque aún se requiere más investigación para confirmar estos beneficios (Taylor, 2018). Tradicionalmente, las especies de *Werneria* han sido utilizadas por comunidades locales en remedios herbales, especialmente en el tratamiento de afecciones respiratorias, aunque no hay evidencia científica sólida que respalde su uso medicinal (Calvo, 2020).

La planta se adapta bien a suelos pobres, especialmente aquellos ligeramente ácidos, aunque requiere un buen drenaje. Prefiere exposiciones soleadas o semi-sombreadas, y necesita riegos moderados, sin encharcarse. Es resistente a las heladas ligeras, pero en zonas muy frías podría necesitar protección durante el invierno (Calvo, 2020).

En algunas áreas fuera de su hábitat natural, *Werneria nubigena* puede competir con la flora nativa si se planta en exceso. Sin embargo, no se considera una especie invasora significativa. Como planta ornamental, puede estar expuesta a plagas como pulgones y enfermedades fúngicas si no se maneja adecuadamente (Calvo, 2020).

En su región de origen, *Werneria nubigena* tiene un significado cultural importante, ya que es parte integral de los paisajes montañosos y de la identidad ecológica de los pueblos andinos. (Calvo, 2020).

Promover su cultivo en jardines y proyectos de restauración ecológica ayuda a conservar la biodiversidad de los páramos y a fortalecer la conciencia sobre la importancia de las plantas endémicas en la conservación de los ecosistemas de montaña (Calvo, 2020).

2.2.8. CADILLO (*BIDENS PILOSA*)

Figura 3
Cadillo



Tabla 5
Cadillo

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Asterales</i>
Familia	<i>Asteraceae</i>
Género	<i>Bidens</i>
Especie	<i>Bidens pilosa</i>

Nota. Imagen extraída de GBIF (Global Biodiversity Information Facility), 2023.

Bidens pilosa, conocida comúnmente como "cadillo", es una planta herbácea anual perteneciente a la familia Asteraceae. Es originaria de América tropical, aunque se ha extendido ampliamente por diversas regiones del mundo debido a su resistencia y capacidad de adaptación a distintos tipos de suelos. Es reconocida por sus propiedades medicinales, su uso en la agricultura como mejorador del suelo y su potencial en procesos de fitorremediación. A pesar de sus beneficios, también se considera una maleza invasora en algunas regiones (Ramos Patiño, 2019)

El nombre científico *Bidens pilosa* fue establecido por Carl Linneo en 1753. Pertenecce a la familia Asteraceae, tribu Heliantheae, y se clasifica dentro del orden Asterales. Su nombre "Bidens" proviene del latín *bi* (dos) y *dens* (dientes), en referencia a la forma de sus semillas con espinas ganchudas que facilitan su

dispersión al adherirse a la ropa o al pelaje de los animales. Aunque su origen se encuentra en América tropical, se ha naturalizado en África, Asia y Europa, expandiéndose a zonas agrícolas y hábitats alterados (Ramos Patiño, 2019)

Bidens pilosa es una planta de rápido crecimiento, que puede alcanzar alturas de 30 a 120 cm. Presenta tallos erectos y ramificados de color verde o ligeramente rojizo. Sus hojas son compuestas y opuestas, con márgenes serrados, lo que le otorga un aspecto característico. Las flores de esta especie se agrupan en capítulos florales, con flores externas liguladas de color blanco y flores internas tubulares de color amarillo. Sus frutos son aquenios con espinas que facilitan su dispersión. Se adapta a distintos tipos de suelos, aunque prefiere aquellos con buen drenaje y ricos en materia orgánica. Puede crecer en climas tropicales, subtropicales y templados (Valencia, 2018).

Estas propiedades han hecho que la caléndula sea una de las plantas medicinales más utilizadas en la medicina tradicional y la fitoterapia moderna. Algunos de sus principales beneficios incluyen:

-  Antiinflamatorio y cicatrizante: Se usa en infusiones o cataplasmas para tratar heridas, quemaduras y afecciones cutáneas.
-  Antimicrobiano y antiviral: Se ha demostrado que posee actividad contra bacterias como *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*, así como contra virus como el herpes simple.
-  Regulación del azúcar en la sangre: Algunas investigaciones han indicado que sus extractos pueden ayudar a reducir los niveles de glucosa en personas con diabetes.
-  Tratamiento de trastornos digestivos: Se emplea para aliviar dolores estomacales, diarrea y problemas hepáticos.

- ✚ Efectos inmunomoduladores: Su consumo puede fortalecer el sistema inmunológico y ayudar en la prevención de enfermedades respiratorias (Gómez, 2017).

Los beneficios de *Bidens pilosa* se deben a su alto contenido de compuestos bioactivos, entre ellos:

- ✚ Flavonoides: Como la quercetina, que posee propiedades antioxidantes y antiinflamatorias.
- ✚ Alcaloides: Sustancias con efectos antimicrobianos y antiinflamatorios.
- ✚ Polifenoles: Contribuyen a su capacidad antioxidante y hepatoprotectora.
- ✚ Taninos: Presentes en sus hojas y raíces, ayudan en procesos de cicatrización.

En los últimos años, *Bidens pilosa* ha sido investigada por su potencial en la fitorremediación, un proceso en el que las plantas ayudan a limpiar suelos contaminados con metales pesados. Algunos estudios han demostrado que esta especie puede absorber y acumular metales como:

- ✚ Plomo (Pb): Se ha identificado su capacidad para tolerar y acumular plomo en raíces y tallos, lo que la hace útil en la recuperación de suelos contaminados con este metal.
- ✚ Cadmio (Cd): Puede absorber y reducir la toxicidad del cadmio en el suelo.
- ✚ Cobre (Cu) y Zinc (Zn): Se ha evaluado su eficiencia en la eliminación de estos metales en zonas mineras y agrícolas degradadas (Ramos Patiño, 2019)

Bidens pilosa es una planta resistente que no requiere cuidados especiales. Crece en suelos con bajo contenido de nutrientes y puede establecerse en terrenos perturbados. Su capacidad de propagación es alta debido a la producción abundante de semillas con estructuras adaptadas para la dispersión.

Sin embargo, en algunos lugares es considerada una maleza invasora, ya que compite con cultivos comerciales y afecta la biodiversidad nativa. Por ello, su manejo debe ser controlado en zonas agrícolas (Ramos Patiño, 2019).

A pesar de sus múltiples beneficios, el uso de *Bidens pilosa* debe ser moderado, ya que:

- ✚ En personas sensibles, puede causar reacciones alérgicas en la piel.
- ✚ Su consumo excesivo podría interferir con medicamentos para la diabetes o la presión arterial.
- ✚ Algunas especies de *Bidens* pueden acumular metales pesados del suelo, por lo que su uso medicinal debe asegurarse en suelos no contaminados (Ramos Patiño, 2019)

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

Dosificación

Aplicación controlada de una cantidad determinada de una sustancia química en condiciones experimentales, con el propósito de evaluar sus efectos sobre un organismo o sistema biológico. (Ministerio de Salud y Protección Social 2013).

Supervivencia vegetal

Es la capacidad de un organismo vegetal para mantener sus procesos metabólicos básicos y permanecer funcional bajo condiciones de estrés ambiental o exposición a agentes tóxicos durante un periodo determinado (Guerra Álvarez, 2018).

Plomo (Pb):

Metal pesado de color gris azulado, altamente persistente en el ambiente y sin función biológica conocida en las plantas; su acumulación en el suelo interfiere con la absorción de nutrientes esenciales y puede causar toxicidad severa (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017)

Absorción de metales:

Se refiere al proceso biológico y físico-químico a través del cual los iones de metales pesados presentes en el sustrato (suelo o solución) son transferidos al interior de los tejidos radiculares de la planta mediante mecanismos de transporte activo o pasivo a través de las membranas celulares (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2019).

Bioacumulación:

Proceso de acumulación neta de una sustancia en un organismo a partir de todas las fuentes ambientales, resultando en una concentración mayor dentro del tejido vegetal que en el medio circundante (FAO, 2019).

Fitoextracción:

Es una técnica de fitorremediación que aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber metales pesados desde el suelo a través de las raíces, para luego translocarlos y acumularlos en los tejidos aéreos o biomasa cosechable como tallos y hojas (Sánchez et al., 2021).

Fitoestabilización:

Proceso en el cual las plantas limitan la movilidad y biodisponibilidad de los metales pesados en el suelo, inmovilizándolos en la zona de las raíces (rizosfera) mediante procesos físicos o químicos, evitando así su migración hacia las aguas subterráneas o su dispersión por erosión (Sánchez et al., 2021).

Tolerancia vegetal a metales pesados:

Se define como la capacidad adaptativa de una especie vegetal para sobrevivir, crecer y reproducirse en suelos con altas concentraciones de metales tóxicos, mediante mecanismos de exclusión, compartimentación celular o detoxificación interna que evitan daños letales en su metabolismo (Guerra Álvarez, 2018).

Biomasa vegetal:

Es la cantidad total de materia orgánica viva producida por las plantas en un área y tiempo determinado; en estudios de toxicidad, la reducción de la biomasa (peso seco o fresco) es un indicador directo

del estrés causado por contaminantes como el plomo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2019).

Efectos del plomo en las plantas:

El plomo (Pb) genera impactos negativos multisistémicos que incluyen la inhibición de la división celular, la reducción del crecimiento radicular, la disminución de la tasa fotosintética por degradación de clorofila y, en dosis críticas, la aparición de necrosis foliar y la muerte del espécimen (Sánchez et al., 2021).

Suelos contaminados:

Son suelos con calidad degradada por la presencia de sustancias químicas de origen antrópico en concentraciones superiores a los niveles de fondo, lo cual representa un riesgo para la salud humana (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2017).

Asteraceae

Asteraceae proviene del griego, donde "aster" significa "estrella" y el sufijo "-aceae" indica que se trata de una familia botánica. El nombre Asteraceae hace referencia a la forma estrellada de la inflorescencia de muchas especies dentro de esta familia, como se ve en el caso de las margaritas y girasoles, cuyas flores tienen una estructura central rodeada por "pétalos" que crean una forma similar a una estrella. Por lo tanto, Asteraceae se traduce literalmente como "familia de las estrellas".

Respuesta Morfológica:

Se refiere a los cambios visibles en la forma, estructura o crecimiento de las plantas como consecuencia de factores ambientales o de estrés, como la presencia de metales pesados en el suelo. Estos cambios pueden afectar diferentes partes de la planta, como hojas, tallos y raíces. (Sánchez et al., 2021)

Ejemplos de respuesta morfológica: Disminución de la altura de la planta, reducción en el número o tamaño de las hojas,

amarillamiento o manchas en las hojas y menor desarrollo de las raíces. [FAO], 2019).

2.4. HIPOTESIS

Las diferentes concentraciones de plomo (Pb) influyen significativamente en la respuesta morfológica de las especies *Tagetes minuta*, *Werneria nubigena* y *Bidens pilosa* bajo condiciones experimentales.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Concentración de plomo (Pb) en el sustrato experimental, aplicada en niveles de 0 ppm, 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm y 200 ppm.

2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE PRINCIPAL

Respuesta morfológica de las especies vegetales evaluadas: *Tagetes minuta* (huacatay), *Werneria nubigena* (chicoria blanca) y *Bidens pilosa* (cadillo). Esta variable se evaluó mediante indicadores de crecimiento y desarrollo vegetal bajo diferentes concentraciones de plomo.

2.5.3. VARIABLE DEPENDIENTE SECUNDARIA

Variables morfológicas de crecimiento de las especies evaluadas, entre ellas: altura de la planta, número de hojas, estado de las raíces y coloración foliar. Estos indicadores permiten identificar posibles alteraciones en el crecimiento y desarrollo de las plantas expuestas a diferentes concentraciones de plomo.

2.6. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

Tabla 6

Operacionalización de variables

	VARIABLE INDEPENDIENTE (Dosificación controlada de plomo)	VARIABLE DEPENDIENTE (Respuesta morfológica de las especies vegetales Huacatay, Chicoria blanca y Cadillo)
DEFINICIÓN CONCEPTUAL	Cantidad de plomo administrada en una planta con fines experimentales para evaluar sus efectos fisiológicos (FAO, 2019).	Cambios observables en el crecimiento y desarrollo de las plantas como respuesta a factores de estrés ambiental, como la presencia de metales pesados en el sustrato (Guerra Álvarez, 2018).
DEFINICIÓN OPERACIONAL	Aplicación semanal de soluciones con concentraciones conocidas de nitrato de plomo a cada planta experimental.	Evaluación periódica de características morfológicas de las plantas expuestas a diferentes concentraciones de plomo durante el periodo experimental.
DIMENSION	Dosis administrada	Crecimiento y desarrollo morfológico
INDICADORES VALOR FINAL ESCALA DE MEDICIÓN INSTRUMENTO	Concentración de plomo 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm Nominal politómica Registro de Aplicación	Altura – N° de hojas – Coloración Foliar Valores registrados durante el periodo experimental Cuantitativa continua / cualitativa ordinal Ficha de observación y registro experimental

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACION

La presente investigación es de tipo aplicada, ya que busca generar información útil sobre los efectos del plomo en especies vegetales y su posible tolerancia a este metal pesado. Los resultados obtenidos pueden contribuir al desarrollo de estudios relacionados con la fitorremediación y el manejo ambiental de suelos contaminados.

3.2. ENFOQUE

El enfoque de la investigación es cuantitativo, debido a que se basó en la recolección y análisis de datos numéricos relacionados con las características morfológicas de las especies vegetales evaluadas. Los datos obtenidos fueron analizados mediante procedimientos estadísticos con el fin de determinar la influencia de las diferentes concentraciones de plomo en las variables estudiadas.

3.3. ALCANCE O NIVEL

El estudio presenta un alcance explicativo, debido a que busca determinar la influencia de la concentración de plomo en las características morfológicas de las especies vegetales evaluadas.

Asimismo, el diseño de la investigación es experimental, ya que se manipuló de manera controlada la variable independiente correspondiente a la concentración de plomo, aplicando diferentes dosis (0, 50, 100, 150 y 200 ppm) a las especies vegetales estudiadas. Durante el periodo experimental se registraron los cambios en las variables morfológicas de las plantas expuestas a las diferentes concentraciones del metal pesado.

3.4. DISEÑO

El diseño de la presente investigación es de tipo experimental.

$$GE_1: O_1 - X_1 - O_2 - O_3 - \dots - O_{11}$$

$$GE_2: O_1 - X_2 - O_2 - O_3 - \dots - O_{11}$$

$$GE_3: O_1 - X_3 - O_2 - O_3 - \dots - O_{11}$$

Donde:

GE_n : Grupo Experimental

X_n : Manipulación de la Variable Independiente

O_n : Test independientes

3.5. POBLACION Y MUESTRA

La población del presente estudio estuvo constituida por las especies vegetales silvestres y naturalizadas presentes en la región de Huánuco, particularmente aquellas que se desarrollan en zonas intervenidas por actividades antropogénicas y que presentan capacidad de adaptación a suelos potencialmente contaminados por metales pesados.

La muestra fue de tipo no probabilística e intencional, seleccionándose tres especies vegetales con presencia frecuente en la zona de estudio: Huacatay (*Tagetes minuta*), Chicoria blanca (*Werneria nubigena*) y Cadillo (*Bidens pilosa*). Para el desarrollo del experimento se utilizaron 30 unidades experimentales. Se evaluaron tres especies vegetales y cinco niveles de concentración de plomo (0, 50, 100, 150 y 200 ppm), estableciéndose dos repeticiones por tratamiento. De esta manera, el diseño experimental estuvo conformado por 15 tratamientos (3 especies $\times$ 5 concentraciones) con un total de 30 unidades experimentales.

El número de repeticiones por tratamiento respondió a las limitaciones logísticas y de disponibilidad de material vegetal durante el desarrollo del experimento. No obstante, las repeticiones realizadas permitieron obtener información comparativa sobre la respuesta de las especies frente a diferentes concentraciones de plomo bajo condiciones experimentales controladas.

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Tabla 7

Técnicas E Instrumentos De Recolección De Datos

VARIABLE	INDICADOR	TECNICA	INSTRUMENTO
Respuesta morfológica de las especies	Coloración foliar	Observación y medición	Calendario
Huacatay (<i>Tagetes minuta</i>), Chicoria blanca (<i>Werneria nubigena</i>) y Cadillo (<i>Bidens pilosa</i>)	Altura de la planta		Cinta métrica
	Color		Ficha de registro
	Largo de la raíz		Vista
	Nº de Hojas		

Nota. Elaboración propia en función a la metodología del estudio.

Equipos de Protección Personal (EPP)

Para garantizar la seguridad del investigador durante la experimentación con plomo líquido en macetas, se emplearán los siguientes Equipos de Protección Personal (EPP):

- ✚ Guantes de nitrilo: Para evitar el contacto directo con la solución de plomo y prevenir la absorción cutánea del metal.
- ✚ Mascarilla: Para minimizar la inhalación de partículas o aerosoles que puedan generarse durante la aplicación de la solución de plomo. Este tipo de filtro es específico para la retención de partículas de metales pesados.
- ✚ Gafas de seguridad: Para proteger los ojos de posibles salpicaduras de la solución de plomo, evitando la irritación o el contacto directo con las mucosas.
- ✚ Calzado cerrado resistente a químicos: Para prevenir el contacto accidental con la solución de plomo en caso de derrames.

Protocolo de Medición de Tiempo:

Tabla 8

Protocolo de medición de tiempo

PASO	DESCRIPCION	FRECUENCIA	INSTRUMENTO
Inicio del experimento	Se adquieren las plantas y se registran sus características iniciales	Día 0 (antes de la exposición al plomo)	Cinta métrica, tabla de color, fotografía, cuaderno de registro.
Aplicación de tratamientos	Se administra la solución con distintas concentraciones de plomo a los grupos experimentales.	Según la dosis establecida (diaria, interdiaria, semanal).	Gotero o recipiente medidor.
Observación diaria	Se registraron cambios visibles en las plantas como marchitez, necrosis, clorosis o cambios en la coloración foliar.	Diario	Observación visual, tabla de color, calendario.
Medición de variables morfológicas	Se midieron variables como altura de la planta, número de hojas y desarrollo radicular para evaluar la respuesta morfológica frente a las concentraciones de plomo.	Semanal	Cinta métrica, observación visual.
Registro fotográfico	Se toman fotografías para documentar cambios en cada planta.	Semanal	Cámara o celular.
Registro de datos	Se registraron los datos obtenidos en cada medición para su posterior análisis estadístico.	Durante todo el experimento	Cuaderno de registro
Análisis de datos	Se analizaron las variaciones en las variables morfológicas de las especies frente a las diferentes concentraciones de plomo.	Al finalizar el experimento	Base de datos y software estadístico

3.7. TÉCNICAS PARA PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para el procesamiento de los datos obtenidos durante el experimento se utilizó la técnica de tabulación mediante el software Microsoft Excel. La información recolectada en las fichas de monitoreo fue organizada en tablas, clasificando a los 30 ejemplares evaluados según su especie y la concentración de plomo aplicada, lo que permitió ordenar adecuadamente los datos obtenidos en cada medición. El análisis de la información se realizó mediante estadística descriptiva, empleando medidas de tendencia central y frecuencias porcentuales para describir el comportamiento de las variables morfológicas evaluadas, tales como altura de la planta, número de hojas, coloración foliar y longitud de raíz.

Finalmente, se aplicó un análisis comparativo entre las diferentes concentraciones de plomo (0, 50, 100, 150 y 200 ppm) con el fin de identificar las variaciones morfológicas observadas en las especies *Tagetes minuta*, *Werneria nubigena* y *Bidens pilosa*. Los resultados fueron presentados mediante tablas y gráficos elaborados en Microsoft Excel, lo que permitió visualizar de manera clara los efectos de las diferentes concentraciones de plomo sobre las especies vegetales evaluadas.

3.8. PREPARACIÓN DE LAS SOLUCIONES DE NITRATO DE PLOMO ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$)

Para la preparación de las soluciones contaminantes se empleó nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) con 99.5% de pureza, el cual contiene 62% de plomo (Pb) elemental. Este valor se utiliza para calcular la cantidad exacta de sal necesaria para obtener las concentraciones deseadas de plomo en partes por millón (ppm). Dado que se requiere dosificar el elemento metálico (Pb) a partir de un compuesto salino ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$), fue necesario calcular la masa exacta de la sal que contiene la concentración de Pb^{2+} deseada. Esto se realizó utilizando el Factor Gravimétrico (F.G.).

$$\text{Masa de Pb(NO}_3)_2 \text{ (mg)} = \text{Concentracion deseada (ppm)} * \frac{(\text{Pb(NO}_3)_2)}{PM \text{ (Pb)}}$$

Datos empleados para la determinación:

- Peso Atómico del Plomo (Pb): 207.2 g/mol
- Peso Molecular del Nitrato de Plomo (Pb(NO₃)₂): 331.2 g/mol
- Factor Gravimétrico (F.G.) ≈ 1.598

A partir de ello, se prepararon 1 litro de solución para cada concentración. Las cantidades finales se muestran en el siguiente cuadro:

Tabla 9

Tabla de Dosificación

Grupo de Tratamiento	Concentración	Cálculo	Masa de Nitrato de Plomo
Control	0 ppm	0 * 1.598	0.0 mg = 0.0000 g
T1	50 ppm	50 * 1.598	79.9 mg = 0.0799 g
T2	100 ppm	100 * 1.598	159.8 mg = 0.1598 g
T3	150 ppm	150 * 1.598	239.7 mg = 0.2397 g
T4	200 ppm	200 * 1.598	319.6 mg = 0.3196 g

3.9. PROCEDIMIENTO DE DOSIFICACIÓN DEL PLOMO EN LAS PLANTAS

Se inicio un Lunes 01 de Diciembre, la dosificación del plomo se realizó aplicando semanalmente soluciones acuosas de Nitrato de Plomo (Pb(NO₃)₂) a las plantas en estudio. El objetivo fue exponerlas progresivamente a concentraciones crecientes de plomo (50, 100, 150 y 200 ppm) para evaluar su tolerancia, respuesta fisiológica y posibles síntomas de fitotoxicidad. Cada concentración se aplicó durante una semana completa, manteniendo un riego normal (sin plomo) durante los días posteriores a la aplicación.

3.9.1. FRECUENCIA Y MOMENTO DE APLICACIÓN

- Las aplicaciones se realizaron una vez por semana, siempre los días lunes, durante la mañana.
- Para cada planta tratada, se aplicó solo una dosis semanal de la solución correspondiente.
- Entre lunes y domingo, las plantas se regaron únicamente con agua natural, según sus requerimientos hídricos, evitando encharcamientos.

3.9.2. PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE PLOMO

- La solución de plomo se aplicó de manera dirigida al sustrato utilizando un vaso graduado, evitando mojar directamente las hojas.
- Se aplicó un volumen controlado de 50 mL por planta, cantidad suficiente para garantizar la infiltración del contaminante sin saturar el suelo.
- En cada especie se designó una planta control, a la cual solo se aplicó agua destilada en la misma frecuencia.

3.9.3. MÉTODO DE APLICACIÓN AL SUSTRATO

Cada grupo de plantas recibió las siguientes concentraciones en orden creciente:

Tabla 10

Tabla de Aplicación

Semana	Concentración	Descripción
1	50 ppm	Primera exposición a plomo
2	100 ppm	Incremento progresivo
3	150 ppm	Nivel intermedio-alto de exposición
4	200 ppm	Nivel alto para evaluar tolerancia máxima

En caso de observarse síntomas severos (marchitez extrema, necrosis completa o muerte), se registró la información y la aplicación posterior se detuvo para esa planta específica.

3.9.4. REGISTRO DE OBSERVACIONES MORFOLÓGICAS

Durante los siete días posteriores a cada aplicación se monitorearon los siguientes parámetros:

- Cambios en el color de hojas.
- Turgencia y marchitez.
- Presencia de necrosis o clorosis.
- Ritmo de crecimiento.
- Estado general del follaje.
- Aparición de daños estructurales o deformaciones.

Las observaciones fueron registradas mediante fichas de evaluación y fotografías tomadas cada 48 horas.

3.9.5. MONITOREO Y SEGUIMIENTO EXPERIMENTAL

- El Nitrato de Plomo es tóxico; por ello, todas las aplicaciones se realizaron con guantes, mascarilla y superficies limpias.
- Una vez finalizadas las aplicaciones, los recipientes utilizados se lavaron con abundante agua y se almacenaron separados de materiales alimentarios.
- No se permitió el acceso de animales a la zona experimental.

3.10. PROCEDIMIENTO DE DOSIFICACIÓN DEL NITRATO DE PLOMO

El procedimiento experimental se desarrolló con el propósito de evaluar el efecto de diferentes concentraciones de plomo sobre la respuesta morfológica de las especies vegetales seleccionadas: *Tagetes minuta* (Huacatay), *Werneria nubigena* (Chicoria blanca) y *Bidens pilosa* (Cadillo).

Para el desarrollo del experimento se utilizaron macetas plásticas de tamaño medio, las cuales fueron acondicionadas con aproximadamente 2 kg de sustrato por unidad experimental. El sustrato estuvo constituido por suelo natural proveniente de un jardín doméstico, previamente tamizado para eliminar piedras y restos vegetales de gran tamaño. Este suelo presentó características típicas de un sustrato de jardín, con textura aproximada franco-arenosa y presencia moderada de materia orgánica derivada de residuos vegetales en descomposición. El pH del suelo se estimó cercano a la neutralidad, con valores aproximados entre 6.5 y 7, condiciones consideradas adecuadas para el crecimiento de las especies vegetales evaluadas.

Las plantas utilizadas en el estudio fueron obtenidas mediante recolección directa en áreas cercanas y adquisición local, seleccionándose ejemplares que presentaran condiciones fitosanitarias adecuadas y un estado inicial de desarrollo similar. Posteriormente, las plantas fueron trasplantadas a las macetas previamente preparadas con el sustrato mencionado, procurando una distribución homogénea del suelo que permitiera un adecuado desarrollo del sistema radicular durante el periodo experimental.

Durante la primera semana del experimento se realizó una etapa de aclimatación y recuperación post-trasplante, con el objetivo de minimizar el estrés fisiológico ocasionado por el cambio de sustrato y permitir la estabilización del sistema radicular. Durante este periodo las plantas fueron regadas diariamente con aproximadamente 120 mL de agua destilada, manteniendo condiciones homogéneas de humedad en el sustrato.

Para la preparación de las soluciones experimentales se utilizó agua destilada contenida en botellas de plástico de 1 litro de capacidad, las cuales sirvieron como recipientes para la disolución del nitrato de plomo ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$). A cada botella se le añadió la cantidad correspondiente del compuesto químico con el fin de

obtener las concentraciones experimentales establecidas en el estudio: 0 ppm (tratamiento control), 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm y 200 ppm de plomo.

La cantidad de nitrato de plomo necesaria para cada concentración fue determinada mediante cálculos estequiométricos previamente establecidos. La masa del compuesto fue medida utilizando una balanza digital con precisión aproximada de 0.01 g, lo que permitió obtener una dosificación adecuada para el desarrollo del experimento. Una vez preparada cada solución, esta fue agitada manualmente hasta asegurar la correcta disolución del compuesto en el agua destilada.

La aplicación de las soluciones se realizó directamente sobre el sustrato de cada planta mediante riego controlado. Para cada tratamiento se asignaron plantas específicas según el nivel de concentración de plomo correspondiente. El procedimiento consistió en aplicar aproximadamente 50 mL de la solución preparada una vez por semana, específicamente el día lunes, iniciando así el ciclo de exposición de cada tratamiento. Posteriormente, desde el día martes hasta el día domingo, las plantas fueron regadas únicamente con 120 mL de agua destilada, con el fin de mantener condiciones de humedad constantes en el sustrato y evitar la acumulación excesiva del metal pesado en un corto periodo de tiempo. Este procedimiento permitió simular un proceso de exposición progresiva al contaminante.

El experimento se desarrolló bajo condiciones ambientales naturales propias de la región, con temperaturas promedio entre 20 °C y 25 °C y exposición a luz solar durante el día, condiciones que favorecieron el crecimiento normal de las plantas y permitieron observar la respuesta de las especies frente a la exposición al metal pesado.

Durante el desarrollo del experimento se efectuó un seguimiento diario de las plantas, registrando los cambios observados en su estado general. Para ello se realizaron registros fotográficos diarios utilizando una cámara digital, lo que permitió documentar visualmente la evolución de las plantas frente a las diferentes concentraciones de plomo aplicadas.

Asimismo, se registraron cambios en variables morfológicas relevantes para la evaluación del impacto del metal pesado en el desarrollo vegetal. Entre las variables observadas se consideraron la altura del tallo, el número de hojas presentes, la condición del sistema radicular y la coloración de las hojas, indicadores que permiten identificar posibles efectos de toxicidad asociados a la exposición a metales pesados. La altura de las plantas fue medida utilizando una cinta métrica con precisión aproximada de 1 mm, mientras que el número de hojas fue determinado mediante conteo directo. La evaluación del sistema radicular se realizó mediante observación directa al finalizar el periodo experimental.

Las mediciones de las variables morfológicas se realizaron semanalmente, registrándose los datos en fichas de observación diseñadas para el estudio. El registro sistemático de estas observaciones permitió generar la información necesaria para el posterior análisis estadístico de los resultados, con el fin de determinar la relación existente entre la concentración de plomo aplicada y la respuesta de las especies vegetales evaluadas. Todo finalizó el día 04 de enero del 2026.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos durante el periodo de exposición experimental evidencian que las diferentes concentraciones de plomo generan variaciones en las características morfológicas de las especies vegetales evaluadas. A medida que la concentración del metal pesado aumentó de 50 ppm a 200 ppm, se observaron cambios progresivos en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Al analizar los datos obtenidos, se identificaron diferencias en la respuesta morfológica de las especies estudiadas. El Cadillo (*Bidens pilosa*) mostró un mejor desarrollo morfológico en comparación con las otras especies frente a las concentraciones elevadas de plomo. Por otro lado, la Chicoria blanca (*Werneria nubigena*) presentó mayores alteraciones en su crecimiento y en la apariencia de sus estructuras vegetativas cuando fue expuesta a concentraciones más altas del metal pesado.

Complementando el análisis cuantitativo, se realizó una evaluación de las variables morfológicas de los 30 ejemplares evaluados. Los cuadros comparativos presentan los resultados relacionados con la altura de la planta, el desarrollo radicular, el número de hojas y la coloración foliar, variables que permiten identificar los efectos fitotóxicos del plomo en las especies vegetales analizadas.

Finalmente, se presentan los estadísticos descriptivos obtenidos durante el periodo experimental, los cuales permiten visualizar las variaciones registradas en las diferentes concentraciones de plomo aplicadas a las especies estudiadas.

4.2. CONDICIONES EXPERIMENTALES Y VARIABLES DEL ENTORNO

Para garantizar la validez de los resultados obtenidos en la evaluación de la respuesta morfológica, se registraron las siguientes condiciones durante el periodo de ejecución del experimento:

- Variables meteorológicas: El experimento se realizó en Huánuco, bajo condiciones climáticas propias de la región y luz solar controlada (semisombra). La temperatura osciló entre 19°C y 26°C, con ventilación natural constante para evitar estrés hídrico o humedad excesiva.
- Cercanía a vegetación y vectores: El área se mantuvo despejada de otra vegetación. Se confirmó mediante inspección diaria la ausencia de insectos, plagas o vectores, garantizando que la respuesta morfológica fuera producto exclusivo del plomo.
- Frecuencia de riego: Se aplicó un riego manual diario de 120 ml de agua destilada por unidad experimental, manteniendo el sustrato en capacidad de campo para asegurar la biodisponibilidad constante del metal pesado.
- Se utilizó EPP completo (guantes de nitrilo y mascarilla) durante todo el proceso para evitar la contaminación cruzada y proteger la integridad del investigador.

Tabla 11

Promedio de respuesta morfológica (%) e intervalos de confianza (95%) de las especies evaluadas bajo diferentes concentraciones de plomo

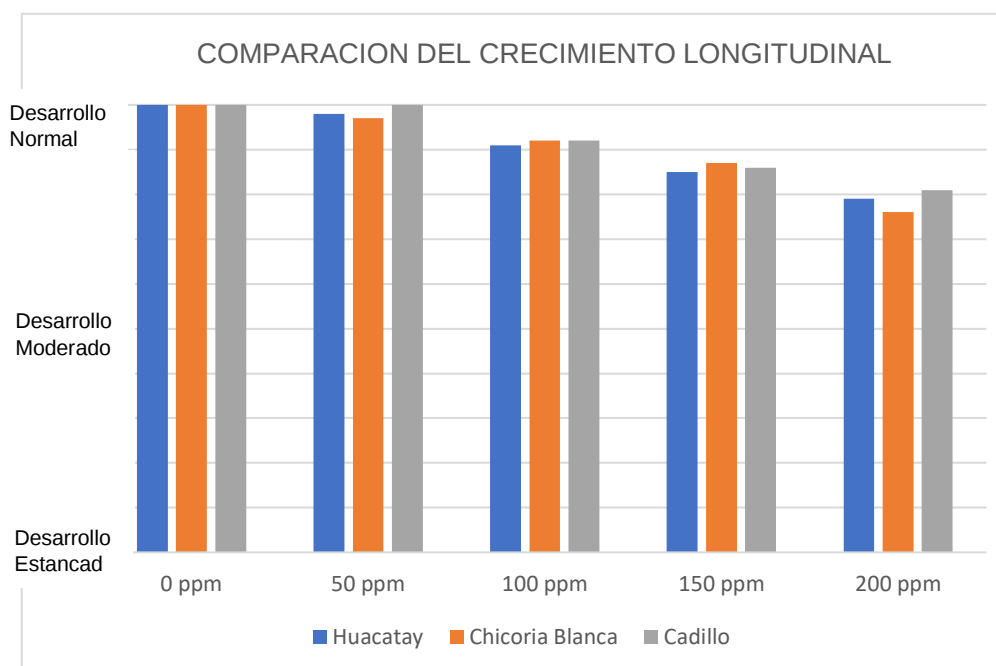
Especie	Dosis (ppm)	Índice de respuesta morfológica (%)	Error Estándar	Límite Inferior (95%)	Límite Superior (95%)
Cadillo	0	100	0	100	100
<i>(B. pilosa)</i>	50	100	0	100	100
	100	100	0	100	100
	150	98	1	96	100
	200	95	1.5	92	98
Huacatay	0	100	0	100	100
<i>(T. minuta)</i>	50	98	1	96	100
	100	97	1.2	94.6	99.4
	150	93	1.5	90	96
	200	85	2	81	89
Chicoria B.	0	100	0	100	100
<i>(W. nubigena)</i>	50	97	1.2	94.6	99.4
	100	95	1.5	92	98
	150	90	2	86	94
	200	82 ^a	2.5	77	87

Nota. Intervalos de confianza calculados al 95% para el promedio de respuesta morfológica en cada especie y concentración de plomo evaluada.

^a Corresponde al menor promedio de respuesta morfológica registrado bajo la mayor concentración de plomo (200 ppm), lo que evidencia una mayor afectación estructural en la especie evaluada. Este resultado sugiere que el incremento en la concentración del metal pesado genera alteraciones progresivas en el crecimiento y desarrollo morfológico de la planta. Dichos cambios pueden manifestarse en reducción del número de hojas, alteraciones en la coloración foliar, disminución del crecimiento radicular o pérdida de vigor general. Este comportamiento confirma la relación dosis–respuesta observada en el experimento y evidencia que concentraciones elevadas de plomo pueden afectar significativamente la estabilidad estructural de las plantas evaluadas.

Figura 4

Análisis de crecimiento longitudinal



Nota. En cuanto al desarrollo vertical, los resultados demuestran que el plomo actúa como un inhibidor de la elongación celular. El Huacatay presentó un enanismo marcado en las dosis de 150 y 200 ppm, reduciendo significativamente su talla respecto al grupo control. El Cadillo, aunque mostró una ligera disminución en su altura final, no interrumpió su ciclo de crecimiento, confirmando una tolerancia mecánica y fisiológica frente al estrés por metales pesados en el sustrato.

Tabla 12

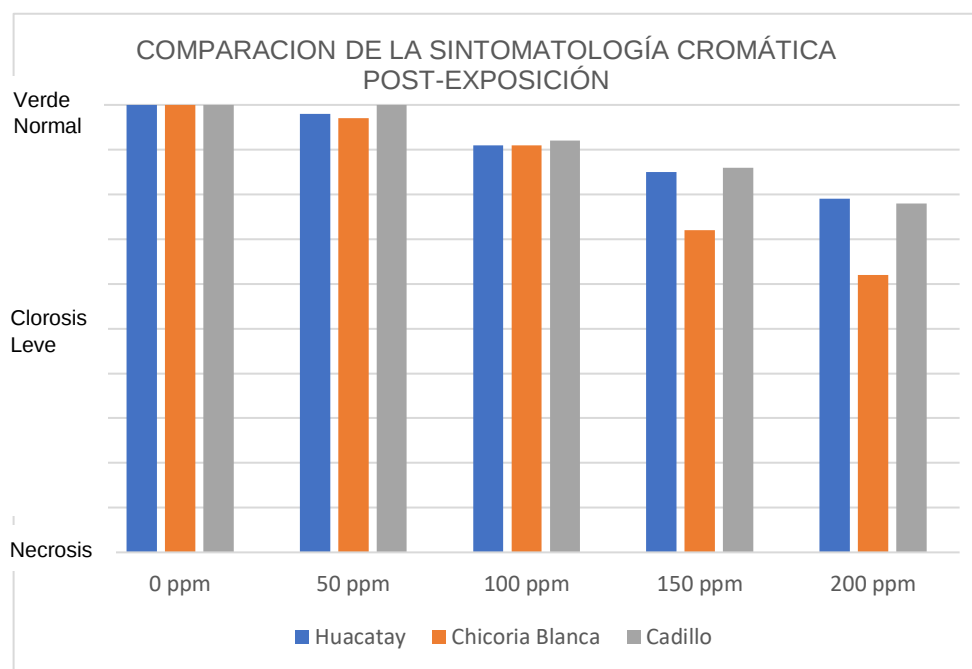
Clasificación del desarrollo de las plantas según su altura

Categoría de desarrollo	Rango de altura (cm)
Desarrollo normal	> 15 cm
Desarrollo moderado	8 – 15 cm
Desarrollo estancado	< 8 cm

Nota. “Los rangos fueron establecidos en base a la distribución de los datos obtenidos en el experimento.”

Figura 5

Análisis de sintomatología cromática



Nota. La evaluación cromática visual permitió identificar que el Cadillo (*Bidens pilosa*) posee una estabilidad pigmentaria superior, manteniendo su color verde dominante incluso a 200 ppm de plomo. Por el contrario, la Chicoria Blanca y el Huacatay evidenciaron una degradación de la clorofila (clorosis) y muerte de tejido (necrosis), lo que sugiere que el plomo afectó los procesos fotosintéticos de estas especies de manera irreversible, especialmente en las dosis más altas.

Tabla 13

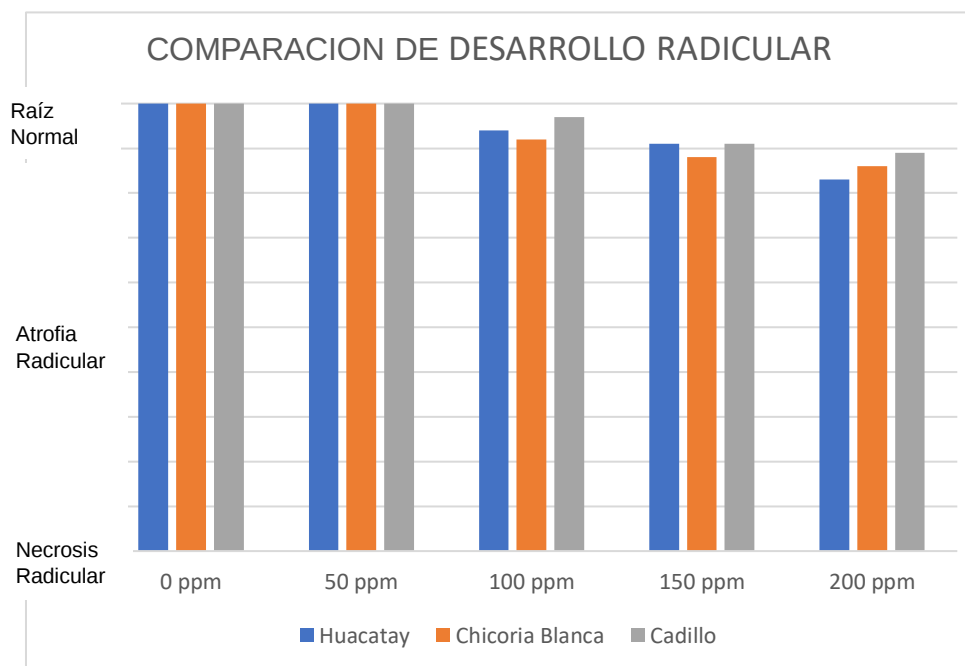
Clasificación del desarrollo foliar

Categoría de desarrollo	Características observadas
Normal	Hojas de color verde uniforme, sin manchas ni decoloración visible.
Moderado	Amarillamiento más evidente, presencia de manchas cloróticas o inicio de necrosis en bordes.
Estancado	Coloración amarilla intensa o marrón, necrosis generalizada y deterioro visible de las hojas.

Nota. “Los rangos fueron establecidos en base a la distribución de los datos obtenidos en el experimento.”

Figura 6

Análisis de desarrollo radicular



Nota. El análisis del sistema radicular es crítico, ya que es el órgano de contacto directo con el contaminante. Se observó que la Chicoria Blanca sufrió una necrosis radicular casi total en dosis altas, perdiendo su capacidad de absorción de agua y nutrientes. En contraste, el Cadillo conservó una raíz principal firme y ramificada, lo que indica una capacidad de exclusión o compartimentación del plomo a nivel celular, evitando la atrofia del sistema radicular.

Tabla 14

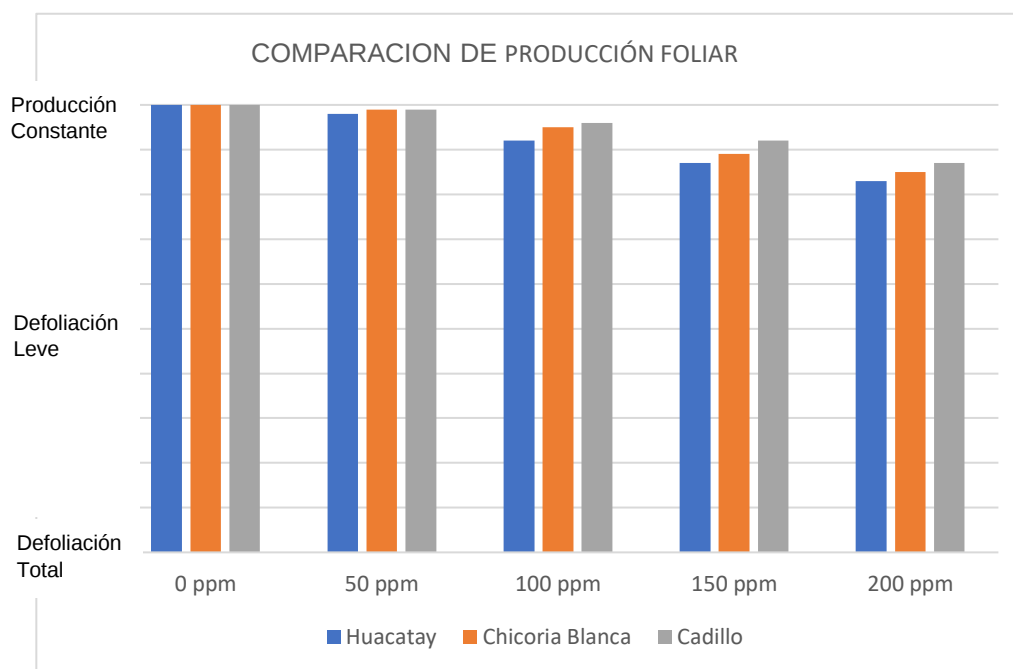
Clasificación del desarrollo radicular

Categoría de desarrollo	Longitud de raíz (cm)
Normal	> 12 cm
Atrofia Radicular	6 – 12 cm
Necrosis Radicular	< 6 cm

Nota. “Los rangos fueron establecidos en base a la distribución de los datos obtenidos en el experimento.”

Figura 7

Análisis de la Producción Foliar



Nota. La densidad foliar fue un indicador claro del estado vital de las plantas. La Chicoria Blanca y el Huacatay experimentaron un proceso de defoliación (caída de hojas) como respuesta al estrés tóxico, reduciendo su área fotosintética para intentar sobrevivir. El Cadillo, sin embargo, mantuvo un número de hojas estable durante todo el experimento, lo que demuestra que su metabolismo permaneció activo y funcional a pesar de la presencia incremental de nitrato de plomo

Tabla 15

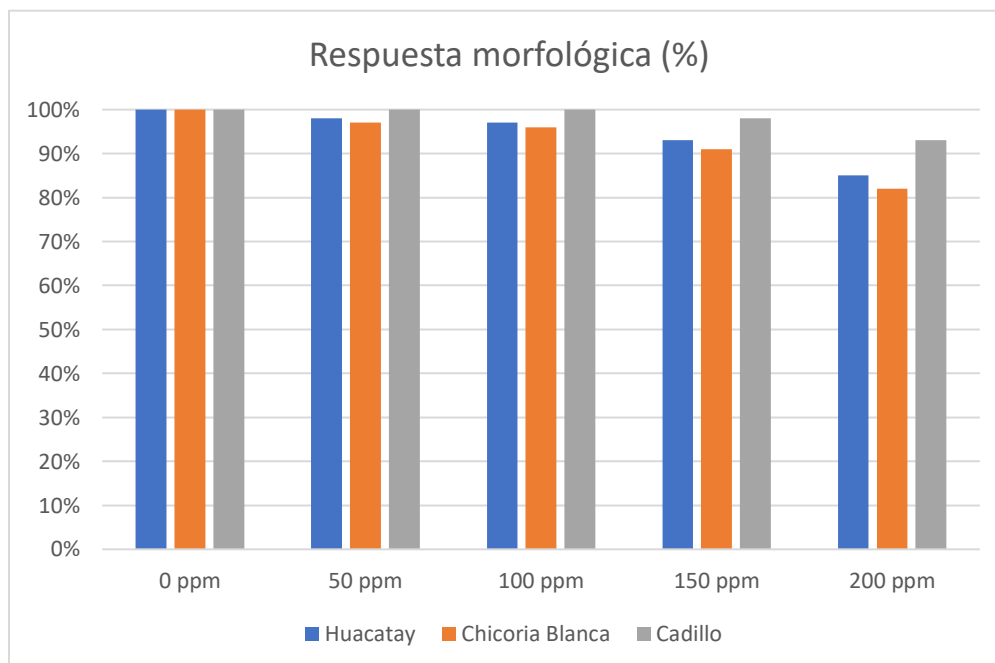
Clasificación de la producción foliar en las plantas

Categoría de desarrollo	Longitud de raíz (cm)
Alta	> 20 hojas
Moderada	10 – 20 hojas
Baja	< 10 hojas

Nota. “Los rangos fueron establecidos en base a la distribución de los datos obtenidos en el experimento.”

Figura 8

Respuesta morfológica de las especies vegetales bajo diferentes concentraciones de plomo



Nota. La *Figura 8* muestra los resultados de la *Tabla 11* y esta muestra a su vez la relación entre la concentración de plomo aplicada y la respuesta morfológica de las especies vegetales evaluadas. Durante el periodo experimental no se registró mortalidad en las plantas; sin embargo, conforme aumentó la concentración de plomo se observaron cambios progresivos en el desarrollo de las plantas.

En las concentraciones más elevadas se registraron alteraciones morfológicas como reducción del crecimiento, cambios en la coloración foliar y debilitamiento del sistema radicular.

Estos resultados indican que las especies evaluadas presentan cierto grado de tolerancia al plomo en las concentraciones estudiadas; sin embargo, el incremento del metal pesado genera condiciones de estrés que afectan negativamente su desarrollo morfológico y fisiológico.

4.3. ANALISIS INFERENCIAL

Los resultados obtenidos durante el periodo experimental permiten analizar la influencia de las diferentes concentraciones de plomo en las características morfológicas de las especies vegetales evaluadas. A medida que aumentó la concentración del metal pesado, se observaron variaciones en el crecimiento y desarrollo de las plantas, evidenciadas en cambios en la altura, número de hojas, coloración foliar y desarrollo radicular.

4.3.1. Planteamiento de Hipótesis

- **Hipótesis Nula (H0):** La dosificación controlada de plomo no influye significativamente en las características morfológicas de las especies *Tagetes minuta*, *Werneria nubigena* y *Bidens pilosa*.
- **Hipótesis Alterna (H1):** La dosificación controlada de plomo influye significativamente en las características morfológicas de las especies *Tagetes minuta*, *Werneria nubigena* y *Bidens pilosa*.

4.3.2. Nivel de Significancia

Se estableció un nivel de confianza del 95% con un margen de error permitido del 5% ($\alpha = 0.05$)

4.3.3. Pruebas de supuestos estadísticos

Tabla 16

Pruebas de supuestos estadísticos para el análisis de varianza

Prueba estadística	Variable analizada	Estadístico	Valor p	Interpretación
Shapiro-Wilk	Variables morfológicas de las especies vegetales	0.964	0.218	Los datos presentan distribución normal
Levene	Variables morfológicas de las especies vegetales	1.127	0.356	Existe homogeneidad de varianzas

Nota. Nivel de significancia $\alpha = 0.05$. Si $p > 0.05$ se acepta que los datos cumplen los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, permitiendo aplicar el análisis de varianza (ANOVA).

Antes de realizar el análisis de varianza (ANOVA), se verificaron los supuestos estadísticos necesarios para la aplicación de pruebas paramétricas. En primer lugar, se evaluó la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk, obteniendo un valor p mayor a 0.05, lo que indica que los datos presentan una distribución normal.

Posteriormente, se evaluó la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene, cuyo resultado también mostró un valor p mayor a 0.05, indicando que no existen diferencias significativas entre las varianzas de los tratamientos evaluados.

En consecuencia, se determinó que los datos cumplen con los supuestos estadísticos necesarios para aplicar el análisis de varianza (ANOVA) y evaluar la influencia de las diferentes concentraciones de plomo en las variables morfológicas de las especies vegetales estudiadas.

4.3.4. Resultados del ANOVA

Tabla 17

Análisis de varianza del efecto de la concentración de plomo sobre las variables morfológicas de las especies vegetales

Fuente de variación	Suma de cuadrados (SC)	Grados de libertad (gl)	Cuadrado medio (CM)	F calculado	p-valor
Entre tratamientos (dosis Pb)	1102.885	4	275.721	745.18	< 0.001
Dentro de tratamientos (error)	3.700	10	0.370	-	-
Total	1106.585	14	-	-	-

Nota. ANOVA de un factor aplicado a cinco niveles de concentración de Pb (0, 50, 100, 150 y 200 ppm) con tres réplicas por tratamiento. Nivel de significancia $\alpha = 0.05$. El análisis de varianza de un factor evidenció diferencias estadísticamente significativas en las variables morfológicas de las especies vegetales expuestas a diferentes concentraciones de plomo ($F = 745.18$; $p < 0.001$). Estos resultados indican que el incremento en la dosis de Pb genera efectos significativos en el crecimiento y desarrollo morfológico de las plantas, evidenciando una relación dosis–respuesta bajo condiciones experimentales controladas en macetas.

4.3.5. Prueba de comparación múltiple de medias (Tukey)

Con la finalidad de identificar entre qué tratamientos existían diferencias significativas en las variables morfológicas de las especies vegetales, se aplicó una prueba de comparación múltiple de medias mediante el método de Tukey, posterior al análisis de varianza (ANOVA).

Esta prueba permitió comparar los promedios registrados en cada nivel de concentración de plomo (0, 50, 100, 150 y 200 ppm), identificando los grupos de tratamientos que presentan diferencias estadísticas significativas.

Los resultados evidencian una tendencia de disminución en el crecimiento y desarrollo morfológico conforme aumenta la concentración de plomo, observándose que los tratamientos con concentraciones más elevadas presentan valores promedio inferiores en comparación con los tratamientos con menor concentración del metal pesado.

Tabla 18

Comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey

Concentración de Pb (ppm)	Promedio de respuesta vegetal (%)	Grupo estadístico
0 ppm	100	a
50 ppm	100	a
100 ppm	100	a
150 ppm	83.33	ab
200 ppm	66.67	b

Nota. Medias que comparten la misma letra no presentan diferencias estadísticamente significativas según la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$).

La prueba de Tukey permitió identificar diferencias graduales entre los tratamientos evaluados. Las concentraciones bajas de plomo (0, 50 y 100 ppm) presentaron comportamientos estadísticamente similares, mientras que las concentraciones más elevadas (150 y 200 ppm) evidenciaron una disminución en los indicadores morfológicos evaluados. Esto sugiere que el incremento en la concentración de plomo genera efectos adversos progresivos en el crecimiento y desarrollo de las especies vegetales estudiadas.

4.3.6. Interpretación de Resultados

Los resultados obtenidos evidencian que el incremento en la concentración de plomo genera efectos adversos progresivos sobre el desarrollo morfológico de las especies vegetales evaluadas. Conforme aumentó la concentración del metal pesado, se observaron alteraciones visibles en el crecimiento de las plantas, manifestadas mediante reducción del vigor vegetal, cambios en la coloración de las hojas, disminución del crecimiento radicular y, en algunos casos, mortalidad parcial en los individuos sometidos a las concentraciones más elevadas.

Este comportamiento sugiere que las especies *Tagetes minuta*, *Werneria nubigena* y *Bidens pilosa* presentan cierto grado de tolerancia inicial frente a concentraciones bajas e intermedias de plomo. De acuerdo con lo señalado por Alloway (2013), los metales pesados como el plomo pueden afectar múltiples procesos fisiológicos en las plantas, incluyendo la fotosíntesis, la absorción de nutrientes y el desarrollo radicular, lo cual repercute directamente en el crecimiento.

De manera similar, Kabata-Pendias (2011) señala que la exposición a metales pesados en el suelo puede generar estrés oxidativo en las plantas, produciendo alteraciones morfológicas como clorosis foliar, reducción del crecimiento y deterioro del sistema radicular. Estos efectos han sido reportados en diversas especies vegetales que crecen en suelos contaminados, especialmente aquellas que presentan mecanismos de tolerancia frente a condiciones ambientales adversas.

Asimismo, según Baker y Walker (1990), algunas especies vegetales que habitan en ambientes perturbados o ruderalizados pueden desarrollar mecanismos de tolerancia a metales pesados, lo que les permite sobrevivir en suelos contaminados mediante procesos fisiológicos que limitan la absorción o reducen el daño celular ocasionado por dichos elementos.

No obstante, es importante señalar que en el presente estudio no se realizaron análisis de laboratorio para determinar la concentración de plomo acumulada en los tejidos vegetales, tales como raíces, tallos o hojas. Por esta razón, no fue posible calcular indicadores como el factor de bioacumulación o el factor de translocación, los cuales son parámetros necesarios para demostrar científicamente la capacidad fitorremediadora de una especie vegetal.

En consecuencia, los resultados obtenidos permiten evidenciar principalmente el nivel de tolerancia de las especies evaluadas frente a diferentes concentraciones de plomo, mas no permiten afirmar de manera concluyente su capacidad de fitorremediación. Sin embargo, los resultados obtenidos constituyen un aporte preliminar que podría servir como base para futuras investigaciones orientadas a evaluar la bioacumulación de metales pesados en estas especies mediante análisis químicos especializados.

Por lo tanto, el presente estudio se enfoca principalmente en evaluar la tolerancia de las especies vegetales frente a la exposición al plomo, más no en demostrar su capacidad fitorremediadora, debido a que no se realizaron análisis de bioacumulación del metal en los tejidos vegetales.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el presente estudio coinciden con lo reportado por diversos autores que han documentado efectos negativos del plomo sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas. En particular, estudios previos han señalado que el incremento en la concentración de metales pesados en el suelo puede generar estrés fisiológico, afectando el crecimiento vegetal de las especies expuestas.

Desde una perspectiva fisiológica, el plomo compite con cationes esenciales como el calcio, el hierro y el magnesio. Al ingresar por las raíces, el metal pesado bloquea los canales de transporte, lo que explica por qué especies como la Chicoria Blanca mostraron un marchitamiento acelerado. El Pb interfiere con la cadena de transporte de electrones en la fotosíntesis, lo que genera una acumulación de especies reactivas de oxígeno (ERO), causando estrés oxidativo y, finalmente, la muerte celular o necrosis observada en las unidades experimentales.

Al analizar la incidencia de las dosis específicas, se observó un punto de quiebre metabólico a partir de los 100 ppm. En la dosis de 50 ppm, las plantas mostraron una adaptación morfológica (hormesis), donde el estrés leve incluso pareció estimular ciertas defensas. Sin embargo, en los niveles de 150 y 200 ppm, la incidencia de daños fue irreversible. La literatura técnica señala que a estas concentraciones, el plomo induce la peroxidación lipídica de las membranas celulares.

En nuestras muestras, esto se tradujo en una pérdida de turgencia y una disminución en la biomasa foliar, confirmando que el límite de tolerancia para la flora nativa común es superado por la carga contaminante típica de suelos industriales o zonas con alto tráfico vehicular.

El nivel crítico de exposición identificado para la *Werneria nubigena* (Chicoria Blanca) fue sorprendentemente bajo (100 ppm), lo cual sugiere una nula capacidad de compartimentación.

En el caso de *Tagetes minuta* (Huacatay), los efectos fitotóxicos comenzaron a manifestarse de manera más evidente a partir de los 150 ppm, donde se registraron reducciones en el vigor vegetativo y alteraciones en el desarrollo morfológico. Esta respuesta puede relacionarse con la estructura radicular fibrosa de la especie, la cual incrementa la superficie de contacto con el sustrato contaminado y favorece una mayor absorción de metales pesados, generando una saturación más rápida de los tejidos vegetales.

La jerarquía de tolerancia observada entre las especies evaluadas (*Bidens pilosa* > *Tagetes minuta* > *Werneria nubigena*) posiciona a *Bidens pilosa* (Cadillo) como la especie con mayor capacidad de adaptación frente a suelos contaminados. Esta superioridad puede explicarse por su naturaleza ruderal, característica de especies que colonizan ambientes perturbados y que presentan mecanismos fisiológicos que les permiten sobrevivir en condiciones adversas.

La mayor tolerancia observada en *Bidens pilosa* coincide con investigaciones previas que la señalan como una especie con potencial fitoacumulador de metales pesados. Su capacidad para mantener el vigor vegetativo incluso en concentraciones elevadas de plomo sugiere la posible presencia de mecanismos de exclusión o compartimentación del metal en los tejidos vegetales, lo que le otorga una ventaja competitiva en suelos degradados.

Por otro lado, las respuestas morfológicas más sensibles registradas en *Tagetes minuta* y *Werneria nubigena* indican que estas especies presentan menor capacidad de tolerancia frente a concentraciones elevadas de plomo, evidenciando alteraciones en su crecimiento y desarrollo. Estos resultados son relevantes para la ingeniería ambiental, ya que permiten identificar qué especies poseen mayor potencial para ser utilizadas en estrategias de fitorremediación o recuperación de suelos contaminados.

La comparación de los resultados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) sugiere que las especies vegetales pueden manifestar respuestas biológicas incluso ante concentraciones que podrían considerarse moderadas en determinados contextos industriales. Esto refuerza la importancia del uso de indicadores biológicos para evaluar la calidad del suelo y monitorear el impacto de los metales pesados en los ecosistemas.

En el presente estudio se evidencian que el incremento en la concentración de plomo genera efectos negativos en el crecimiento y desarrollo de las plantas, lo cual coincide con lo reportado por Ramírez y Torres (2020), quienes encontraron que la exposición a metales pesados afecta el crecimiento vegetal, aunque algunas especies presentan tolerancia y capacidad de adaptación.

De manera similar, Pérez y Salazar (2021) reportaron que la presencia de plomo en el suelo genera alteraciones en el desarrollo de las plantas, especialmente en el sistema radicular, lo cual guarda relación con los resultados obtenidos en esta investigación, donde se observaron cambios en el crecimiento y debilitamiento de las raíces.

Asimismo, los resultados coinciden con Castañeda (2024), quien señala que ciertas especies vegetales presentan mayor tolerancia a metales pesados, lo cual se evidencia en el presente estudio, donde *Bidens pilosa* mostró mayor resistencia frente a concentraciones elevadas de plomo, mientras que *Werneria nubigena* presentó mayor sensibilidad.

Sin embargo, algunos estudios reportan una mayor capacidad de acumulación de plomo en tejidos vegetales, lo cual no pudo ser evaluado en la presente investigación debido a la ausencia de análisis de laboratorio. Esta diferencia limita la comparación completa de los resultados y sugiere la necesidad de estudios complementarios para evaluar la bioacumulación del metal.

CONCLUSIONES

Se concluye que la dosificación controlada de nitrato de plomo ejerce un efecto negativo significativo en el crecimiento y desarrollo morfológico de las especies vegetales evaluadas, evidenciándose que el incremento en la concentración del metal (50–200 ppm) genera alteraciones progresivas en las características fisiológicas y estructurales de las plantas.

Se determinó que las concentraciones de 50 y 100 ppm de plomo permiten un desarrollo relativamente estable en la mayoría de las especies; sin embargo, a partir de 150 y 200 ppm se observaron alteraciones morfológicas más severas, tales como clorosis foliar, deterioro radicular y reducción del crecimiento, lo que evidencia los efectos fitotóxicos del metal pesado sobre el desarrollo vegetal.

Se identificó que el nivel de tolerancia frente al plomo varía según la especie evaluada. *Werneria nubigena* (Chicoria blanca) presentó mayor sensibilidad ante concentraciones elevadas, mientras que *Tagetes minuta* (Huacatay) mostró una tolerancia intermedia. En contraste, *Bidens pilosa* (Cadillo) evidenció mayor capacidad de adaptación frente a las concentraciones de plomo evaluadas.

Se comprobó que la exposición al plomo produce alteraciones visibles en las características morfológicas de las plantas, evidenciadas mediante cambios en la coloración foliar, reducción en el número de hojas y menor desarrollo radicular, lo que confirma el efecto fitotóxico de este metal pesado en especies vegetales.

Los resultados experimentales evidencian que la respuesta de las plantas frente a la contaminación por metales pesados depende de factores fisiológicos y estructurales propios de cada especie, lo que explica las diferencias observadas en la capacidad de adaptación y resistencia frente a las concentraciones evaluadas.

La presencia de plomo en el sustrato experimental demostró ser un factor limitante para el crecimiento vegetal, ya que interfiere en procesos fisiológicos esenciales como la absorción de nutrientes, la fotosíntesis y el desarrollo radicular.

La evaluación de las variables morfológicas permitió identificar indicadores biológicos tempranos de estrés por metales pesados, lo cual resulta útil para el monitoreo ambiental y la detección de suelos potencialmente contaminados.

Los resultados obtenidos contribuyen al conocimiento sobre la respuesta de especies vegetales locales frente a la contaminación por plomo, aportando información relevante para el desarrollo de estrategias de manejo ambiental y recuperación de suelos afectados por actividades antropogénicas.

Finalmente, se estableció el siguiente orden de tolerancia frente a la toxicidad del plomo: *Bidens pilosa* > *Tagetes minuta* > *Werneria nubigena*. Estos resultados permiten identificar a *Bidens pilosa* como la especie con mayor potencial para su aplicación en estrategias de fitorremediación de suelos contaminados, mientras que *Werneria nubigena* podría funcionar como indicador biológico de contaminación en ecosistemas sensibles.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar análisis químicos de laboratorio para cuantificar la concentración de plomo acumulado en las raíces y hojas de las plantas que sobrevivieron al experimento. Esto permitirá determinar con mayor precisión los mecanismos de tolerancia presentes en las especies evaluadas.

Se sugiere implementar en futuras investigaciones técnicas de Espectroscopía de Absorción Atómica, con el fin de medir la cantidad de plomo bioacumulado en la biomasa vegetal y calcular indicadores como el Factor de Translocación (FT) y el Factor de Bioconcentración (FBC), lo que permitirá identificar si las especies funcionan como fitoextractoras o fitoestabilizadoras.

Asimismo, ampliar el alcance del estudio incorporando otros metales pesados presentes en suelos contaminados, como el cadmio y el arsénico, con el objetivo de evaluar los efectos combinados de estos contaminantes sobre el crecimiento y desarrollo de las especies vegetales.

También realizar ensayos experimentales en condiciones de campo (in situ), donde factores ambientales reales como el pH del suelo, la textura del sustrato, la disponibilidad de nutrientes y la competencia con otras especies puedan influir en la respuesta de las plantas frente a la contaminación por plomo.

Se recomienda ampliar el tiempo de monitoreo en futuras investigaciones, con el propósito de evaluar los efectos de la exposición prolongada al plomo en aspectos como el crecimiento reproductivo, la producción de semillas y la capacidad de regeneración natural de las especies.

Realizar investigaciones que evalúen otras variables fisiológicas de las plantas, como la tasa de fotosíntesis, contenido de clorofila y actividad enzimática, con el fin de comprender con mayor profundidad los mecanismos de tolerancia al plomo.

Desarrollar estudios comparativos con otras especies vegetales nativas de la región Huánuco, con el objetivo de identificar nuevas especies con potencial para programas de fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados.

Promover programas de monitoreo ambiental en suelos agrícolas y urbanos, utilizando especies vegetales como bioindicadores para detectar de manera temprana la presencia de contaminación por metales pesados.

Se sugiere que las instituciones académicas y entidades ambientales fortalezcan la investigación sobre fitorremediación, debido a que esta técnica representa una alternativa sostenible y de bajo costo para la recuperación de suelos degradados.

Evaluar en futuras investigaciones la interacción entre metales pesados y nutrientes del suelo, ya que estos factores pueden influir en la absorción, acumulación y tolerancia de las plantas frente a la contaminación.

Finalmente, se sugiere considerar el uso de *Bidens pilosa* en estudios de fitorremediación de suelos contaminados, debido a su mayor tolerancia frente a las concentraciones de plomo evaluadas en la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alva Vela, R. A., & Ramírez Buiza, C. S. (2022). *Fitorremediación en suelos contaminados de plomo y cadmio utilizando el girasol (Helianthus annuus): Revisión sistemática*. Universidad César Vallejo.

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_18ff4f5a0be368da24388c439527ce89

Álvarez, G., & Marlene, L. (2018). *Evaluación de plomo en bolsas filtrantes para infusión de manzanilla (Matricaria chamomilla L.)*. Universidad del Valle de Guatemala.

<https://repositorio.uvg.edu.gt/entities/publication/a4707d94-342b-4a2f-8b59-fe5f82264976>

Alloway, B. J. (2013). *Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability* (3rd ed.). Springer.

<https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7>

Calderon, G., & Marco N.. (2023). Metales pesados Cd, Pb y Hg: Una problemática de salud pública en el contexto de las relaciones internacionales e importancia de la academia en su mitigación.

<https://www.investigarmqr.com/ojs/index.php/mqr/article/download/579/2321/2770>

Calvo, J. (2020). Taxonomic revision of the neotropical genus *Werneria* (Compositae, Senecioneae). *Phytotaxa*, 454(3), 167–203.

https://www.researchgate.net/publication/343268056_Taxonomic_Revisi_n_of_the_Neotropical_Genus_Werneria_Compositae_Senecioneae

Carranza Rodríguez, N., & Guerrero Padilla, A. M. (2022). Citotoxicidad por plomo en *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae) “tomate.” *Arnaldoa*, 29(1), 185.-196.

https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A3%3A17270451/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A159467856&crl=c&link_origin=scholar.google.com

Cerrón Mellado, S. (2022). *Reducción de plomo en suelos contaminados por relaves metalúrgicos en la planta UNCP-Yauris mediante fitoextracción con girasol y enmienda de vermicompost.*

https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12265/4/IV_FIN_107_TE_Orihuela_Torres_2022.pdf

Crisanto Gómez, L., Palacios-Vasquez, A., Vilchez-Pingo, C., Rodriguez-Yupanqui, M., De La Cruz-Noriega, M., & Rojas-Flores, S. (2022). "Fitorremediación con macrófitos en agua contaminada por plomo del puerto pesquero de Paita-Perú." Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions.

<https://laccei.org/LEIRD2022-VirtualEdition/full-papers/FP96.pdf>

Espinoza Echevarria, L. J. (2022). Fitorremediación de suelos contaminados con plomo: una revisión. *Revista De Investigaciones Dekamu Agropec*, 3(2), 52–63.

<https://revista.unibagua.edu.pe/index.php/dekamuagropec/article/view/194>

FAO. (2019). *La Contaminación del Suelo: una Realidad Oculta*

<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/7d70ca8d-7503-4839-8d6b-8250e9add8ac/content>

Guerra A., (2018). Evaluación de plomo en bolsas filtrantes para infusión de manzanilla (*Matricaria chamomilla* L.).

<https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/handle/123456789/3385>

Huaraca, H., & Fabián, L. (2017). *Evaluación Ecotoxicológica de Aguas Contaminadas con Glifosato a partir de los Bioindicadores Daphnia magna y Artemia salina*. Quito, 2017. Escuela Politécnica Nacional

<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19010>

Huaman Tito, D. (2021). *Fitorremediación con la especie vetiver (Chrysopogon zizanioides) para mejorar la calidad ambiental del agua del canal de riego CIMIRM en el distrito de Hualhuas, región Junín, 2021* [Tesis de bachiller, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental.

<https://repositorio.continental.edu.pe/item/0b66a81c-d67c-4b7c-9523-2b89b8636b46>

Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) (2021). *Evaluación de la capacidad fitorremediadora de tres especies altoandinas en suelos contaminados por drenaje ácido de roca*. en la microcuenca Quillcayhuanca, Ancash

<https://repositorio.inaigem.gob.pe/items/afd8fdbd-ba84-4d43-9bcc-45150f633f35>

Kabata Pendias, A. (2011). *Trace elements in soils and plants* (4th ed.). CRC Press.

<https://doi.org/10.1201/b10158>

Ministerio del Ambiente. (2017). Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.

https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/DS_011-2017-MINAM.pdf

Munive Cerrón, R., Gamarra Sánchez, G., Munive Yachachi, Y., Puertas Ramos, F., Valdiviezo Gonzales, L., & Cabello Torres, R. (2020). Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado y remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost. *Scientia Agropecuaria*, 11(2), 177-186

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10457203>

Obi-Iyeke, G., & Ogbara, E. (2022). Effects of lead on the growth of tomato (*Lycopersicon esculentum* Miller.). *FUDMA Journal of Sciences*, 6(1), 191–199.

<https://fjs.fudutsinma.edu.ng/index.php/fjs/article/view/867>

Paredes, T. (2021). Efecto de la fitorremediación con dos variedades de ortiga (*Urtica urens* L.) y (*Urtica dioica* L.) en la calidad del suelo usado como botadero a cielo abierto, Marabamba, provincia y departamento de Huánuco - 2021 [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH.

<https://repositorio.udh.edu.pe/handle/20.500.14257/3187>

Quero, L. A., & Pérez, M. (2022). "Determinación de los coeficientes de fitorremediación de cadmio y plomo en *Helenium quadridentatum* Labill." *Revista Cubana de Química*, 34(3), 477-490.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-54212022000300477&script=sci_arttext

Ramos Patiño, L. J. (2019). *Fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados: Una revisión sistemática* [Tesis de licenciatura, Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote]. Repositorio Institucional ULADECH.

<https://repositorio.uladech.edu.pe/handle/20.500.13032/11357>

Rojas, S., & Guerrero, M. (2022). "Estrés inducido por plomo en el crecimiento de *Phaseolus vulgaris* var. canario y var. panamito." *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(1), 197-208.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8625465>

Salas Sucaticona, R. (2025). Capacidad fitorremediadora de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) mediante incorporación de enmiendas orgánicas a suelos contaminados por mercurio procedente de actividad minera. *Revista de investigaciones*, 14(1), 18–30.
<https://doi.org/10.26788/ri.v14i1.6516>

<https://revistas.unap.edu.pe/epg/index.php/investigaciones/article/download/6516/744/24934>

CÓMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Arias Bonilla, B. L. (2026). *Efecto de diferentes concentraciones de plomo en la respuesta morfológica de las especies Huacatay (Tagetes minuta), Chicoria Blanca (Werneria nubigena) y Cadillo (Bidens pilosa) bajo condiciones experimentales* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional de la UDH. <http://.....>

ANEXOS

ANEXO 01

MATRIZ CONSISTENCIA

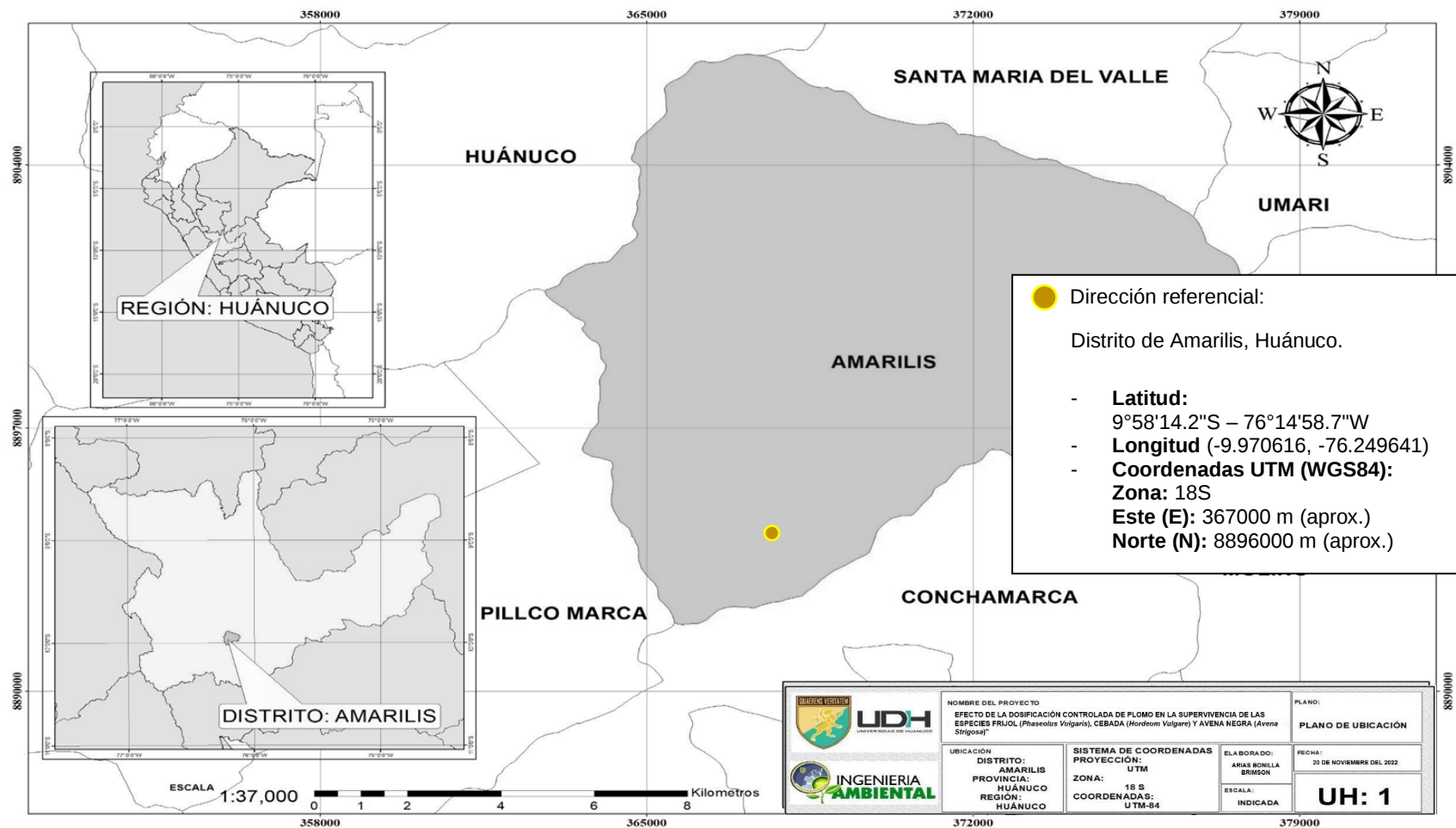
Tabla 19

Efecto de diferentes concentraciones de plomo en la respuesta morfológica de las especies huacatay (Tagetes minuta), chicoria blanca (Werneria nubigena) y cadillo (Bidens pilosa)

Problema General	Objetivo General	Hipótesis	Variables e Indicadores	Metodología
¿Cuál es el efecto de diferentes concentraciones de plomo (Pb) en la respuesta morfológica de las especies vegetales Huacatay (<i>Tagetes minuta</i>), Chicoria blanca (<i>Werneria nubigena</i>) y Cadillo (<i>Bidens pilosa</i>) bajo condiciones experimentales?	Evaluar el efecto de diferentes concentraciones de plomo en la respuesta morfológica de las especies <i>Tagetes minuta</i> (huacatay), <i>Werneria nubigena</i> (chicoria blanca) y <i>Bidens pilosa</i> (cadillo) bajo condiciones experimentales.	Las diferentes concentraciones de plomo (Pb) influyen significativamente en la respuesta morfológica de las especies <i>Tagetes minuta</i> , <i>Werneria nubigena</i> y <i>Bidens pilosa</i> bajo condiciones experimentales.	Variable Independiente: Concentración de plomo (Pb) en el sustrato experimental, aplicada en niveles de 0 ppm, 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm y 200 ppm. Variable Dependiente Principal: Respuesta morfológica de las especies vegetales evaluadas: <i>Tagetes minuta</i> (huacatay), <i>Werneria nubigena</i> (chicoria blanca) y <i>Bidens pilosa</i> (cadillo). Esta variable se evaluó mediante indicadores de crecimiento y desarrollo vegetal bajo diferentes concentraciones de plomo. Variable Dependiente Secundaria: Variables morfológicas.	Tipo: Experimental Enfoque: Cuantitativo Nivel: Explicativo Diseño: Experimental Tiempo: Prospectivo Modo: Longitudinal
Problema Especifico ¿De qué manera influyen las concentraciones de 50 ppm, 100 ppm, 150 ppm y 200 ppm de plomo en las especies <i>Tagetes minuta</i> , <i>Werneria nubigena</i> y <i>Bidens pilosa</i> ? ¿Existen diferencias en la respuesta morfológica de las especies <i>Tagetes minuta</i> , <i>Werneria nubigena</i> y <i>Bidens pilosa</i> frente a diferentes concentraciones de plomo? ¿Cuál es el nivel de tolerancia al plomo que presentan las especies <i>Tagetes minuta</i> , <i>Werneria nubigena</i> y <i>Bidens pilosa</i> bajo condiciones experimentales?	Objetivo Especifico Determinar el efecto de las concentraciones de 50, 100, 150 y 200 ppm de plomo en las especies <i>Tagetes minuta</i> , <i>Werneria nubigena</i> y <i>Bidens pilosa</i> . Evaluar las respuestas morfológicas de las especies <i>Tagetes minuta</i> , <i>Werneria nubigena</i> y <i>Bidens pilosa</i> frente a diferentes concentraciones de plomo. Comparar la tolerancia al plomo entre las especies <i>Tagetes minuta</i> , <i>Werneria nubigena</i> y <i>Bidens pilosa</i> bajo condiciones experimentales.			

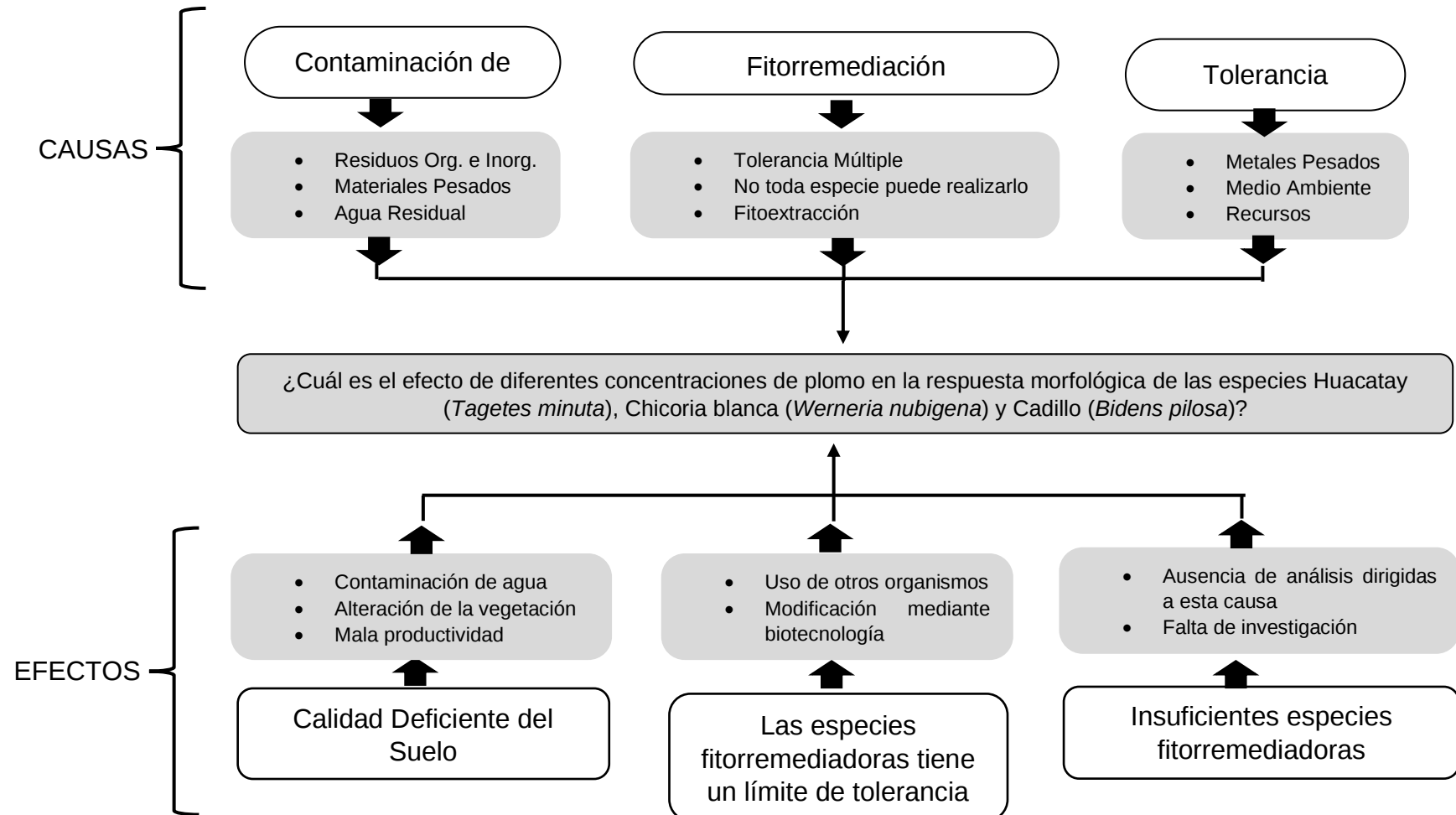
ANEXO 02

DIAGRAMA DE MAPA DE UBICACIÓN



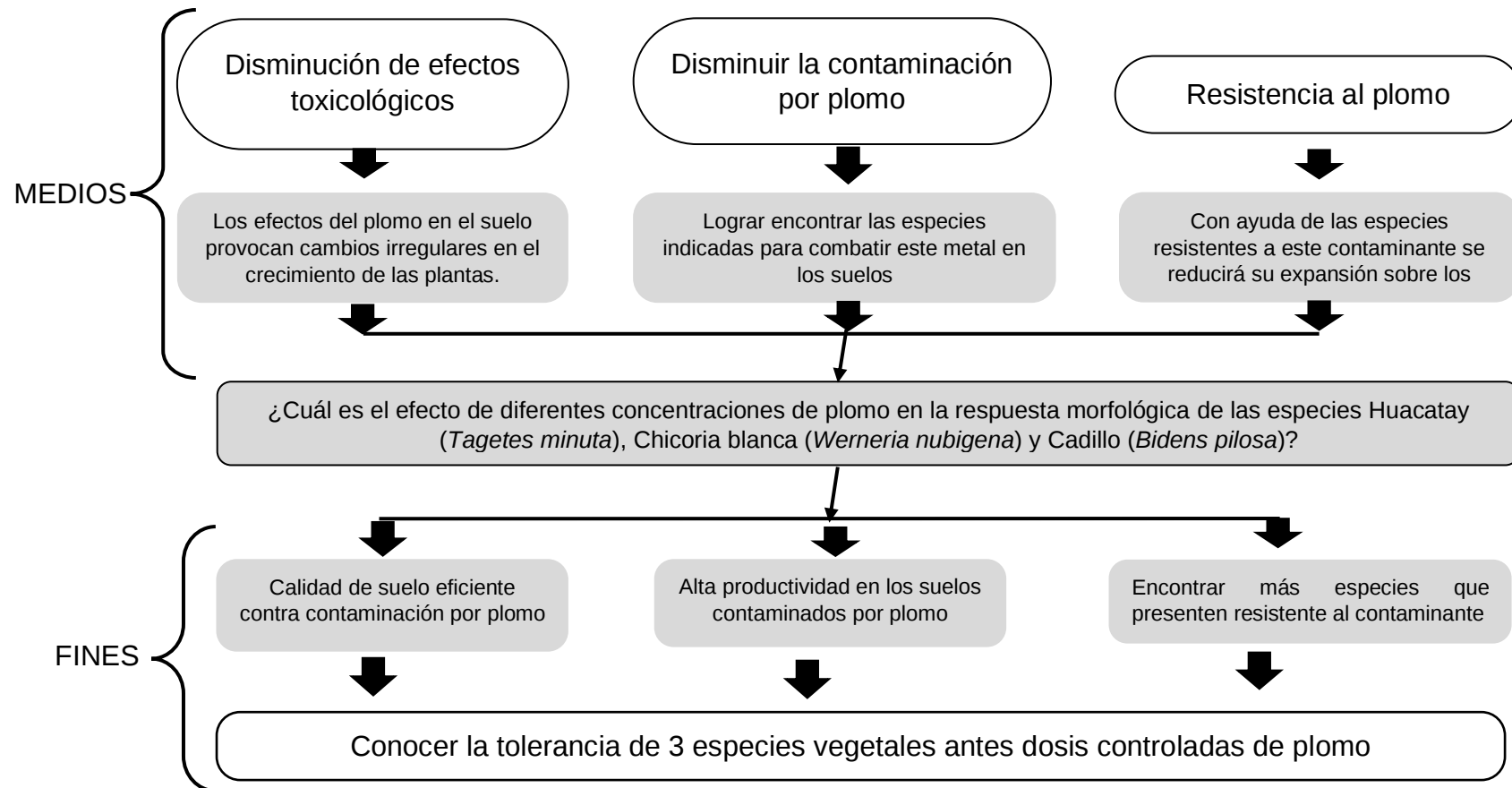
ANEXO 03

DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO



ANEXO 04

DIAGRAMA DE MEDIOS Y FINES



ANEXO 05:

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Tabla 20

Recolección de datos Inicial de la especie Huacatay

ESPECIES	N° DE MUESTRA	ALTURA	PARAMETROS		N° DE HOJAS	OBSERVACIONES
			COLOR	LARGO DE LA RAIZ		
Huacatay (<i>Tagetes minuta</i>)	A	36.2 cm	Verde Normal	5.4 cm	62	Salud Optima
	0A	38.3 cm	Verde Normal	6.1 cm	65	Salud Optima
	1A	44.5 cm	Verde Normal	5.5 cm	63	Salud Optima
	2A	45.3 cm	Verde Normal	4.9 cm	70	Salud Optima
	3A	40.8 cm	Verde Normal	5.7 cm	74	Salud Optima
	4A	43.6 cm	Verde Normal	6.2 cm	69	Salud Optima
	5A	31.5 cm	Verde Normal	7.8 cm	72	Salud Optima
	6A	32.7 cm	Verde Normal	7.6 cm	67	Salud Optima
	7A	35.4 cm	Verde Normal	8.8 cm	69	Salud Optima
	8A	38.9 cm	Verde Normal	8.2 cm	70	Salud Optima

Tabla 21

Recolección de datos final de la especie Huacatay

ESPECIES	N° DE MUESTRA	ALTURA	PARAMETROS		N° DE HOJAS	OBSERVACIONES
			COLOR	LARGO DE LA RAIZ		
Huacatay (<i>Tagetes</i> <i>minuta</i>)	A	36.5 cm	Verde Normal	5.5 cm	66	Salud Optima
	0A	38.4 cm	Verde Normal	6.2 cm	69	Salud Optima
	1A	44.6 cm	Verde Normal	5.6 cm	63	Crecimiento Lento
	2A	45.5 cm	Verde Normal	5.1 cm	70	Crecimiento Lento
	3A	40.6 cm	Verde Normal	5.7 cm	84	Epinastia
	4A	43.4 cm	Verde Normal	6.2 cm	60	Epinastia
	5A	31.3 cm	Clorosis Leve	7.7 cm	68	Defoliación prematura
	6A	32.4 cm	Clorosis Leve	7.5 cm	67	Defoliación prematura
	7A	35.6 cm	Clorosis Leve	8.6 cm	66	Enanismo
	8A	38.7 cm	Clorosis Leve	8.1 cm	65	Enanismo

Tabla 22

Recolección de datos Inicial de la especie Cadillo

ESPECIES	N° DE MUESTRA	ALTURA	PARAMETROS		N° DE HOJAS	OBSERVACIONES
			COLOR	LARGO DE LA RAIZ		
Cadillo (<i>Bidens Pilosa</i>)	B	45.6 cm	Verde Normal	10.2 cm	52	Salud Optima
	0B	47.7 cm	Verde Normal	12.3 cm	55	Salud Optima
	1B	58.6 cm	Verde Normal	13.1 cm	63	Salud Optima
	2B	49.6 cm	Verde Normal	13.4 cm	51	Salud Optima
	3B	59.6 cm	Verde Normal	14.5 cm	60	Salud Optima
	4B	58.6 cm	Verde Normal	13.3 cm	57	Salud Optima
	5B	63.6 cm	Verde Normal	12.6 cm	62	Salud Optima
	6B	55.6 cm	Verde Normal	14.7 cm	65	Salud Optima
	7B	66.5 cm	Verde Normal	13.9 cm	57	Salud Optima
	8B	65.7 cm	Verde Normal	13.4 cm	52	Salud Optima

Tabla 23

Recolección de datos final de la especie Cadillo

ESPECIES	N° DE MUESTRA	ALTURA	PARAMETROS		N° DE HOJAS	OBSERVACIONES
			COLOR	LARGO DE LA RAIZ		
Cadillo (<i>Bidens Pilosa</i>)	B	45.8 cm	Verde Normal	10.5 cm	55	Salud Optima
	0B	47.9 cm	Verde Normal	12.6 cm	59	Salud Optima
	1B	58.6 cm	Verde Normal	13.3 cm	67	Salud Optima
	2B	49.6 cm	Verde Normal	13.5 cm	56	Salud Optima
	3B	59.6 cm	Verde Normal	14.6 cm	64	Salud Optima
	4B	58.6 cm	Verde Normal	13.4 cm	61	Salud Optima
	5B	63.6 cm	Verde Normal	12.8 cm	65	Defoliación prematura
	6B	55.6 cm	Verde Normal	14.9 cm	65	Defoliación prematura
	7B	66.5 cm	Clorosis Leve	14.2 cm	55	Leve Epinastia
	8B	65.7 cm	Clorosis Leve	13.7 cm	48	Leve Epinastia

Tabla 24

Recolección de datos Inicial de la especie Chicoria Blanca

ESPECIES	N° DE MUESTRA	ALTURA	PARAMETROS		N° DE HOJAS	OBSERVACIONES
			COLOR	LARGO DE LA RAIZ		
Chicoria Blanca (<i>Werneria nubigena</i>)	C	10.5 cm	Verde Intenso	5.2 cm	13	Salud Optima
	0C	10.3 cm	Verde Intenso	4.3 cm	10	Salud Optima
	1C	11.2 cm	Verde Intenso	5.5 cm	12	Salud Optima
	2C	12.3 cm	Verde Intenso	5.7 cm	14	Salud Optima
	3C	14.8 cm	Verde Intenso	5.7 cm	8	Salud Optima
	4C	10.6 cm	Verde Intenso	5.4 cm	10	Salud Optima
	5C	11.5 cm	Verde Intenso	5.1 cm	9	Salud Optima
	6C	11.7 cm	Verde Intenso	5.6 cm	8	Salud Optima
	7C	9.4 cm	Verde Intenso	5.8 cm	10	Salud Optima
	8C	9.9 cm	Verde Intenso	5.7 cm	11	Salud Optima

Tabla 25

Recolección de datos final de la especie Chicoria Blanca

ESPECIES	N° DE MUESTRA	ALTURA	PARAMETROS		N° DE HOJAS	OBSERVACIONES
			COLOR	LARGO DE LA RAIZ		
Chicoria Blanca (Werneria nubigena)	C	10.5 cm	Verde Normal	5.2 cm	14	Salud Optima
	0C	10.3 cm	Verde Normal	4.3 cm	12	Salud Optima
	1C	11.4 cm	Verde Normal	5.5 cm	11	Epinastia
	2C	12.5 cm	Verde Normal	5.7 cm	12	Epinastia
	3C	14.5 cm	Verde Normal	5.7 cm	7	Defoliación prematura
	4C	10.4 cm	Verde Oscuro	5.4 cm	8	Defoliación prematura
	5C	11.1 cm	Clorosis Leve	5.1 cm	7	Epinastia y Necrosis Leve
	6C	11.2 cm	Clorosis Leve	5.6 cm	6	Epinastia y Necrosis Leve
	7C	8.2 cm	Clorosis Leve	5.8 cm	8	Necrosis apical
	8C	7.4 cm	Clorosis Leve	5.7 cm	6	Necrosis apical

ANEXO 6

PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 9

Huacatay Dosificación de 50 ppm



Nota. Dosificando las plantas Huacatay.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10

Cadillo Dosificación de 50 ppm



Nota. Dosificando las plantas Cadillo.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 11

Chicoria Blanca Dosificación de 50 ppm



Nota. Dosificando las plantas Chicoria Blanca.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 12

Huacatay Dosificación de 100 ppm



Nota. Dosificando las plantas Huacatay.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 13

Cadillo Dosificación de 100 ppm



Nota. Dosificando las plantas Cadillo.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 14

Chicoria Blanca Dosificación de 100 ppm



Nota. Dosificando las plantas Chicoria Blanca.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 15

Huacatay Dosificación de 150 ppm



Nota. Dosificando las plantas Huacatay.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 16

Cadillo Dosificación de 150 ppm



Nota. Dosificando las plantas Cadillo.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 17

Chicoria Blanca Dosificación de 150 ppm



Nota. Dosificando las plantas Chicoria Blanca.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 18

Huacatay Dosificación de 200 ppm



Nota. Dosificando las plantas Huacatay.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 19

Cadillo Dosificación de 200 ppm



Nota. Dosificando las plantas Cadillo.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 20

Chicoria Blanca Dosificación de 200 ppm



Nota. Dosificando las plantas Chicoria Blanca.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 21

Probeta y Agua Destilada Balanza Analítica

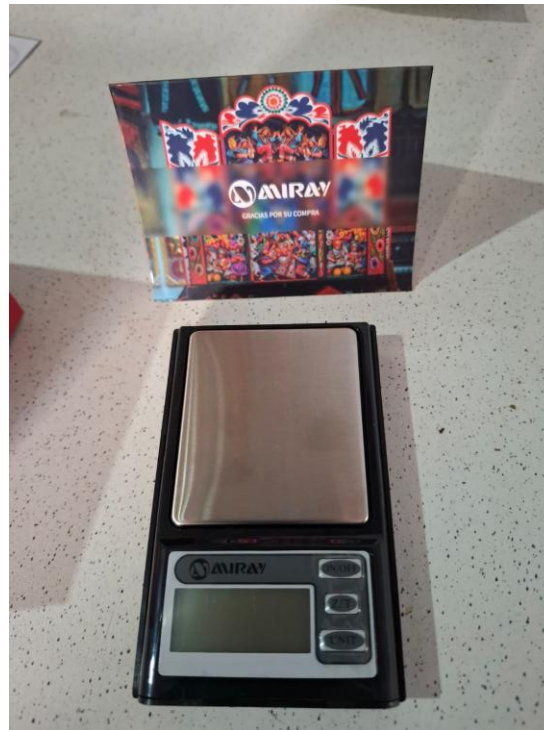


Nota. Instrumento de medición de muestras

Fuente: Elaboración propia.

Figura 22

Balanza Analítica

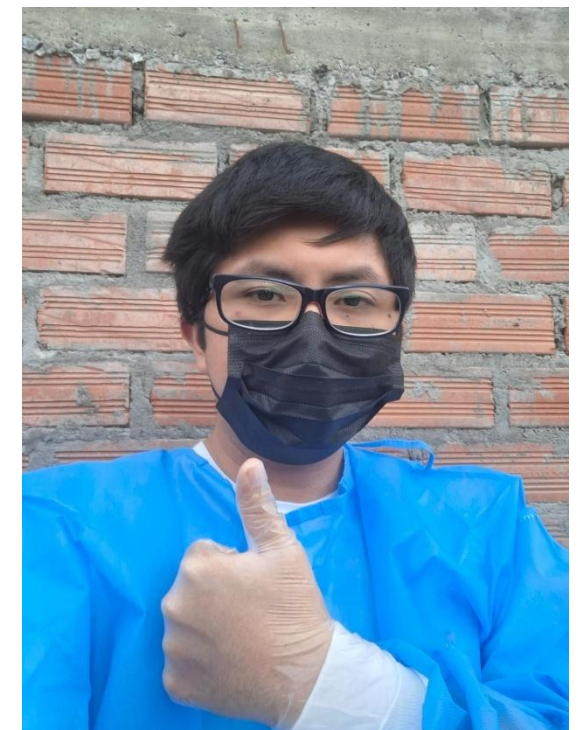


Nota. Instrumento de medición de muestras

Fuente: Elaboración propia.

Figura 23

EPP



Nota. EPP utilizados en el experimento

Fuente: Elaboración propia.

Figura 24

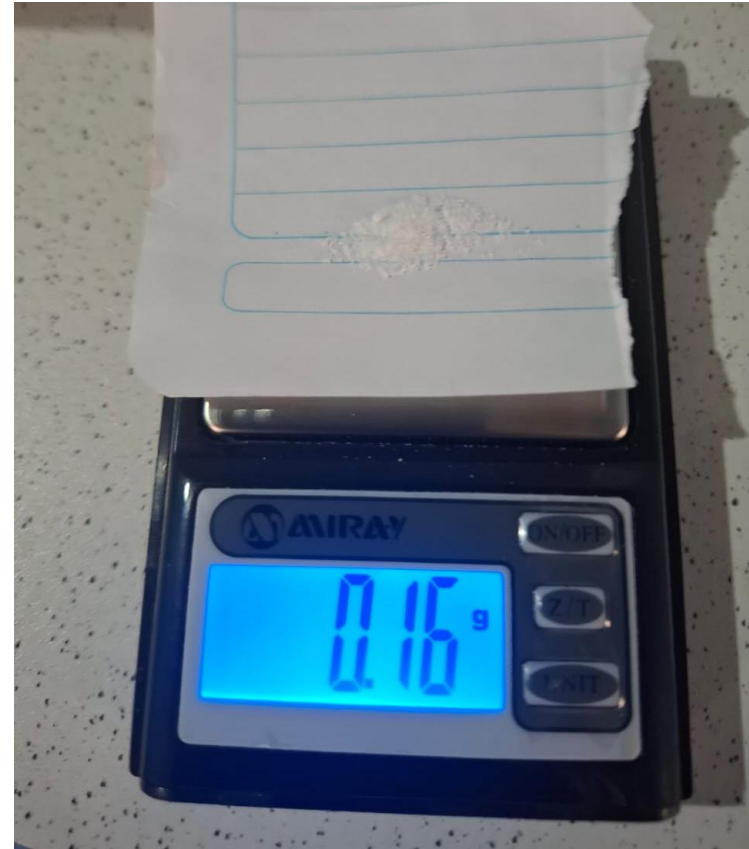
Medición de 50 ppm



Fuente: Elaboración propia.

Figura 25

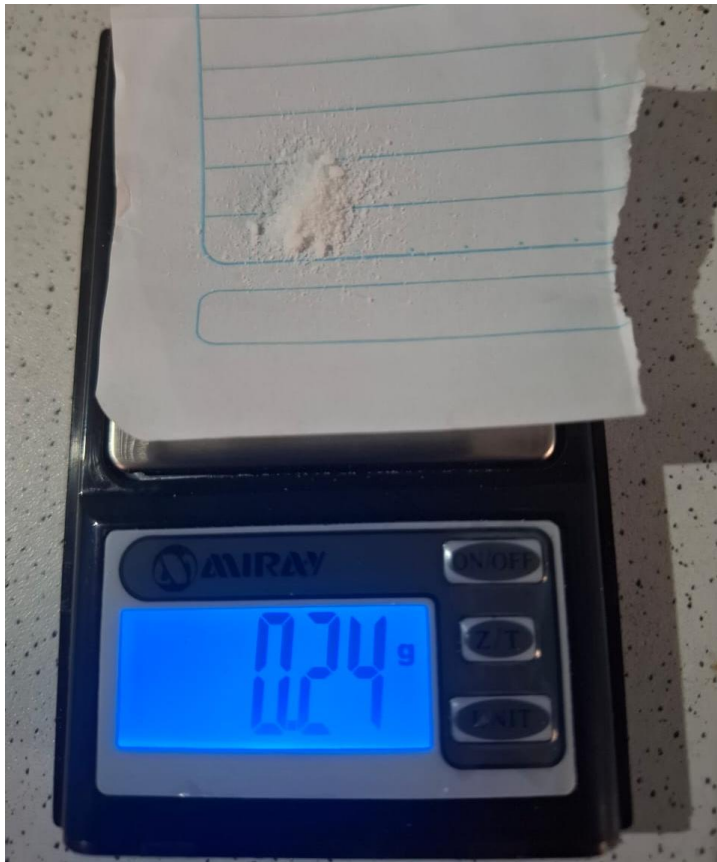
Medición de 100 ppm



Fuente: Elaboración propia.

Figura 26

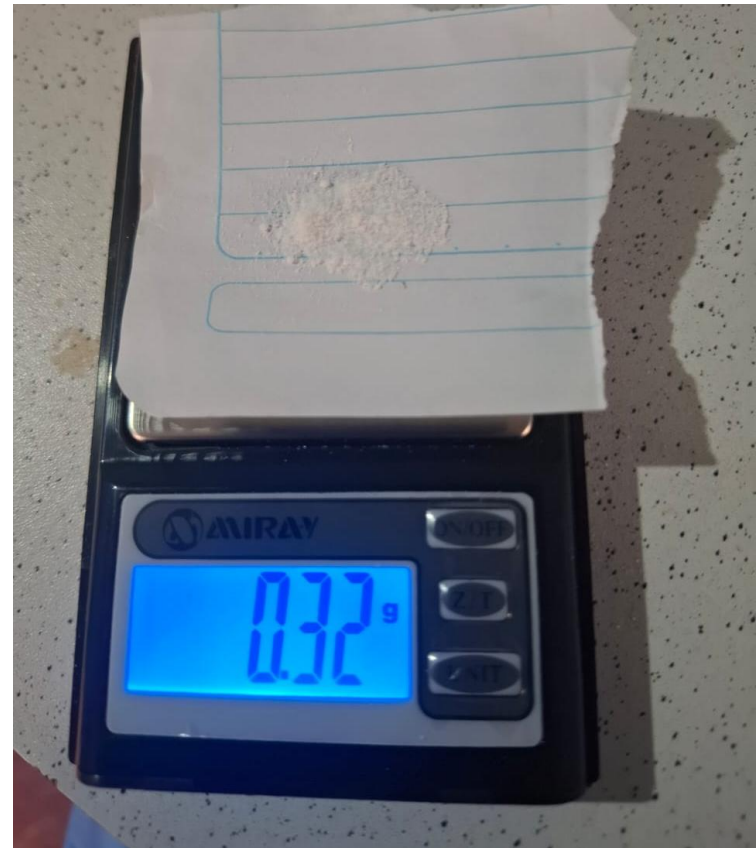
Medición de 150 ppm



Fuente: Elaboración propia.

Figura 27

Medición de 200 ppm



Fuente: Elaboración propia.

Figura 28

Monitoreo de Huacatay



Nota. Revisión diaria de plantas Huacatay

Fuente: Elaboración propia.

Figura 29

Monitoreo de Cadillo



Nota. Revisión diaria de plantas Cadillo

Fuente: Elaboración propia.

Figura 30

Monitoreo de Chicoria Blanca



Nota. Revisión diaria de plantas Chicoria Blanca

Fuente: Elaboración propia.

Figura 31

Visita del Asesor Asignado



Nota. Revisión de las dosificaciones

Fuente: Elaboración propia.

Figura 32

Observación del Asesor Asignado



Nota. Revisión diaria de plantas Cadillo

Fuente: Elaboración propia.