

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

“Identificación de malezas fitoextractoras de cadmio y arsénico en terrenos agrícolas con cultivo de frijol chaucha (*Phaseolus vulgaris* L.) en Huácar - Huánuco 2024”

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

AUTORA: Morales Alvarado, Luz Almendra

ASESOR: Cámara Llanos, Frank Erick

HUÁNUCO – PERÚ

2025

U

D

H



UDH
UNIVERSIDAD DE HUANUCO
<http://www.udh.edu.pe>

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, Tecnológica

Sub área: Ingeniería ambiental

Disciplina: Ingeniería ambiental y geológica

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniera ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

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

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 72450596

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 44287920

Grado/Título: Maestro en ciencias de la salud con
mención en: salud pública y docencia universitaria

Código ORCID: 0000-0001-9180-7405

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Bonifacio Munguia, Jonathan Oscar	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	46378040	0000- 0002- 3013- 8532
2	Valdivia Martel, Perfecta Sofia	Maestro en ingeniería con mención en: gestión ambiental y desarrollo sostenible	43616954	0000- 0002- 7194- 3714
3	Cajahuanca Torres, Raul	Maestro en gestión pública	22511841	0000- 0002- 5671- 1907



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

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 17:00 horas del día 06 del mes de mayo del año 2025, 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:

- Mg. Jonathan Oscar Bonifacio Munguía (Presidente)
- Mg. Perfecta Sofía Valdivia Martel (Secretario)
- Mg. Raúl Cajahuanca Torres (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N° 0796-2025-D-FI-UDH**, para evaluar la Tesis intitulada: **"IDENTIFICACIÓN DE MALEZAS FITOEXTRACTORAS DE CADMIO Y ARSÉNICO EN TERRENOS AGRÍCOLAS CON CULTIVO DE FRIJOL CHAUCHA (*Phaseolus vulgaris* L.) EN HUÁCAR - HUÁNUCO 2024"**, presentado por el (la) Bach. **MORALES ALVARADO, LUZ ALMENDRA**; 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) Aprobada Por Unanimidad con el calificativo cuantitativo de...1.6... y cualitativo de...Bueno... (Art. 47)

Siendo las 18.10 horas del día 06 del mes de Mayo del año 2025, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

Mg. Jonathan Oscar Bonifacio Munguía
DNI: 46378040
ORCID: 0000-0002-3013-8532
Presidente

Mg. Perfecta Sofía Valdivia Martel
DNI: 43616954
ORCID: 0000-0002-7194-3714
Secretario

Mg. Raul Cajahuanca Torres
DNI: 22511841
ORCID: 0000-0002-5671-1907
Vocal



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: LUZ ALMENDRA MORALES ALVARADO, de la investigación titulada "Identificación de malezas fitoextractoras de cadmio y arsénico en terrenos agrícolas con cultivo de frijol chaucha (*Phaseolus vulgaris* L.) en Huácar - Huánuco 2024", con asesor(a) FRANK ERICK CÁMARA LLANOS, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 0973-2024-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 24 % 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, 28 de marzo de 2025



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



FERNANDO F. SILVERIO BRAVO
D.N.I.: 40618286
cod. ORCID: 0009-0008-6777-3370

336. Morales Alvarado, Luz Almendra.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

24%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

15%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

Submitted to Universidad de Huanuco

Trabajo del estudiante

5%

2

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

3%

3

hdl.handle.net

Fuente de Internet

3%

4

fdocuments.ec

Fuente de Internet

2%

5

es.wikipedia.org

Fuente de Internet

1%



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047

cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



FERNANDO F. SILVERIO BRAVO
D.N.I.: 40618286

cod. ORCID: 0009-0008-6777-3370

DEDICATORIA

A mis padres, por su amor incondicional, guía y sacrificios incansables que han sido el pilar de mi formación.

A mis maestros, por compartir su conocimiento y enseñarme a perseverar frente a los desafíos.

Y a la naturaleza misma, que inspira mi vocación de protegerla y restaurarla con cada paso en este camino profesional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios, cuya guía y fortaleza han iluminado cada paso en este camino.

A mi familia, por ser mi mayor pilar, brindándome amor incondicional, apoyo constante y la motivación para superar cada desafío. Su confianza en mí ha sido el motor para alcanzar este logro.

Mi asesor, Mg. Frank Cámara Llanos, por su invaluable orientación y paciencia durante el desarrollo de esta investigación.

A mi colega y amiga, la Ingeniera Jimena Pardave Tineo, por su valioso apoyo y compañía a lo largo de este proyecto.

A la Universidad de Huánuco, por abrirme las puertas al conocimiento y proporcionarme las herramientas académicas y profesionales necesarias para llevar a cabo este proyecto. Su compromiso con la excelencia educativa ha sido crucial para mi formación.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN	XI
CAPITULO I	13
PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	13
1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA	13
1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA.....	15
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.4 JUSTIFICACIÓN O TRASCENDENCIA DE LA INVESTIGACIÓN .	16
1.5 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.6 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	17
CAPITULO II	19
MARCO TEÓRICO	19
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	19
2.2 BASES TEORICAS	27
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES	52
2.4. HIPOTESIS.....	55
2.5. VARIABLES.....	56
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	57
CAPÍTULO III	58
METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	58
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	58
3.1.1. ENFOQUE.....	58
3.1.2. ALCANCE O NIVEL	58
3.1.3 DISEÑO.....	58
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	59
3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	60
3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	63
CAPÍTULO IV.....	65
RESULTADOS.....	65
CAPÍTULO V.....	84

DISCUSIÓN DE RESULTADOS	84
CONCLUSIONES	87
RECOMENDACIONES	88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
ANEXOS	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Caracterización inicial del suelo.....	67
Tabla 2 Especies de malezas identificadas en el experimento	69
Tabla 3 Resultado de análisis de raíz de cada especie (Cd yAs)	75
Tabla 4 Caracterización final de suelo	77
Tabla 5 Comparación de análisis de suelos.....	78
Tabla 6 Biodiversidad en el terreno de cultivo de frejol chaucha	78
Tabla 7 Prueba de normalidad.....	82
Tabla 8 Prueba de Correlación de Spearman.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Delimitación de la parcela experimental	65
Figura 2 Muestra de suelo (pretest)	66
Figura 3 Cultivo de Phaseolus vulgaris	68
Figura 4 Análisis de raíz de mis malezas en el laboratorio	74
Figura 5 Muestra de suelo (postest)	76
Figura 6 Taxones de especie	79
Figura 7 Número de individuos según campo o parcela	79
Figura 8 Dominancia según campo o parcela	80
Figura 9 Índice de Simpson (1-D) según campo o parcela	80
Figura 10 Índice de Shannon según campo o parcela	81
Figura 11 índice de Margalef según campo o parcela	81
Figura 12 Correlación de Spearman	83

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Matriz de consistencia	94
Anexo 2 Plano de ubicación.....	95
Anexo 3 Diagrama de causas y efectos.....	96
Anexo 4 Diagrama de medios y fines	97
Anexo 5 Observación del Ing. Simeón Calixto (jurado).....	98
Anexo 6 Observación del Mg. Frank Cámara (asesor).....	99
Anexo 7 Resultados de análisis de laboratorios de pre test de la muestra de suelo	100
Anexo 8 Resultado de análisis de laboratorio de Cd y As en la raíz de las malezas identificadas.....	101
Anexo 9 Resultado de análisis de laboratorios de post test de mi muestra de suelo	102

RESUMEN

La tesis estudió la contaminación de suelos agrícolas por metales pesados, como cadmio (Cd) y arsénico (As), el cual representa un problema ambiental significativo en el Perú, debido a su impacto en la salud humana y la seguridad alimentaria. Este estudio tuvo como objetivo evaluar la eficacia del frijol chaucha (*Phaseolus vulgaris*) y 13 especies de malezas en la fitoextracción de Cd y As en un suelo agrícola del centro poblado de Santa Rosa, Huácar. Se estableció una parcela experimental de 20 m², subdividida en 10 cuadrantes de 2 m² cada uno, y se realizó un pretest homogeneizado del suelo para determinar las concentraciones iniciales de Cd (1.958 mg/kg) y As (51.635 mg/kg), ambos superando los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del Perú.

Tras el periodo de crecimiento de 45 días, se analizaron las concentraciones de Cd y As en las raíces de las 14 especies vegetales. Los resultados indicaron que *Sonchus asper* L. acumuló la mayor concentración de Cd (2.534 mg/kg), mientras que *Ipomoea purpurea* registró el mayor contenido de As (15.652 mg/kg). Además, el análisis postest del suelo mostró una reducción significativa en los niveles de Cd y As. El análisis estadístico confirmó una correlación significativa ($p < 0.05$) de tipo positiva entre la presencia de cadmio y arsénico en el suelo y en el caso de la abundancia de las malezas, estas no guardan correlación alguna con el Cd y As para este estudio.

Conclusivamente, se recomienda fomentar investigaciones a mayor escala sobre fitoextracción para su aplicación en la agricultura sostenible en zonas afectadas por metales pesados.

Palabras clave: fitoextracción, cadmio, arsénico, *Phaseolus vulgaris*, remediación fítica.

ABSTRACT

This thesis studied the contamination of agricultural soils by heavy metals, such as cadmium (Cd) and arsenic (As), which represents a significant environmental problem in Peru, due to its impact on human health and food security. The objective of this study was to evaluate the efficacy of the string bean (*Phaseolus vulgaris*) and 13 weed species in the phytoextraction of Cd and As in an agricultural soil in the town of Santa Rosa, Huácar. An experimental plot of 20 m² was established, subdivided into 10 quadrants of 2 m² each, and a homogenized pretest of the soil was conducted to determine the initial concentrations of Cd (1,958 mg/kg) and As (51,635 mg/kg), both exceeding the Peruvian Environmental Quality Standards (EQS).

After the 45-day growth period, Cd and As concentrations were analyzed in the roots of the 14 plant species. The results indicated that *Sonchus asper* L. accumulated the highest Cd concentration (2.534 mg/kg), while *Ipomoea purpurea* recorded the highest As content (15.652 mg/kg). Additionally, the post-test soil analysis showed a significant reduction in Cd and As levels. Statistical analysis confirmed a significant positive correlation ($p < 0.05$) between the presence of cadmium and arsenic in the soil. However, in the case of weed abundance, no correlation was found with Cd and As in this study. Conclusively, it is recommended to promote larger scale research on phytoextraction for its application in sustainable agriculture in areas affected by heavy metals.

Key words: phytoextraction, cadmium, arsenic, *Phaseolus vulgaris*, phytic remediation.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como propósito abordar el tema de la contaminación de suelos agrícolas por metales pesados, específicamente cadmio (Cd) y arsénico (As), así como la evaluación de la fitoextracción como alternativa de remediación sostenible. Este tema resulta relevante debido a la creciente preocupación por los efectos negativos de la contaminación en la calidad del suelo, la seguridad alimentaria y la salud de las comunidades que dependen de la agricultura. En particular, la región de Huánuco, Perú, enfrenta serios desafíos debido a los altos niveles de contaminantes en sus suelos agrícolas.

En este trabajo se plantea como problema de investigación: ¿Cuál es la capacidad de fitoextracción del cadmio y arsénico por parte del frijol chaucha y 13 especies de malezas en suelos agrícolas contaminados? Este problema surge porque el frijol chaucha, conocido por su capacidad de acumulación de metales, y las malezas que crecen en su entorno, tienen un potencial poco explorado en la remediación ambiental. Las especies seleccionadas se identificaron por su adaptabilidad al clima local y su disponibilidad en la región. Las preguntas específicas planteadas buscan identificar qué especies de malezas presentan mayor eficiencia acumulativa, cuáles son los cambios en las concentraciones de Cd y As en el suelo tras el tratamiento, y cómo estas condiciones impactan la calidad general del suelo, sentando las bases para una gestión agrícola más sostenible.

La tesis se justifica porque ofrece una solución sostenible y económica para mitigar la contaminación de suelos, destacando la importancia de la fitoextracción como una herramienta basada en la naturaleza para recuperar suelos degradados. Además, contribuye al conocimiento científico sobre el potencial de especies vegetales, nativas y comunes, en la acumulación de metales pesados, lo que podría tener un impacto positivo en las políticas agrícolas y ambientales de la región.

Los resultados obtenidos muestran que el frijol chaucha y algunas especies de malezas, como *Sonchus asper* e *Ipomoea purpurea*,

destacaron por su alta capacidad de acumular cadmio y arsénico en sus raíces, lo que permitió una reducción significativa de estos metales en el suelo. Esto evidencia el potencial de estas plantas para disminuir la contaminación en terrenos agrícolas afectados, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y la recuperación de suelos degradados.

CAPITULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

La actual degradación de la calidad del suelo es provocada por diversas actividades humanas en diferentes sectores; los nutrientes y las propiedades del suelo se pierden debido a estas actividades e intervenciones humanas. Se podría mencionar que la medición de la calidad del suelo mediante indicadores permite entender cómo se desarrolla el país bajo determinados sistemas de manejo, referidos a capacidades y características, especialmente para una agricultura sostenible (Astier, Maass et al., 2002), la producción de variedades de productos básicos necesarios para la producción de varios productos y la aplicación de estos mismos depende en gran medida de un suelo de calidad que contenga todos los nutrientes; por ejemplo, el uso de diferentes tipos de fertilizantes, lo que afecta en gran medida la calidad del suelo obtenido después de usar estos productos agroquímicos. Como consecuencia de esta intervención en los cultivos agrícolas, la seguridad alimentaria de los consumidores es un riesgo directo para la salud, ya que el producto también absorbe las propiedades químicas del fertilizante.

Es muy importante y necesario señalar que uno de los factores que provocan la pérdida total del suelo es la urbanización. El rápido desarrollo urbano e industrial degrada la tierra para obtener ganancias y autosuficiencia; por lo que la sobrepoblación también es considerada uno de los mayores problemas que enfrenta el Perú debido al mal manejo de los residuos que genera.

El principal problema de la gestión de residuos sólidos en el Perú es la falta de sitios de disposición final adecuados, donde en el 2014 solo 11 rellenos sanitarios contaban con todos los permisos y autorizaciones correspondientes (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018), falta de saneamiento. El incumplimiento conduce a una mala gestión, que a su vez provoca directa o indirectamente la contaminación del suelo,

afecta negativamente la salud de la población y conduce a la desaparición paulatina de la flora y la fauna en las zonas urbanizadas.

Otro factor que contribuye a la pérdida de tierras es el cambio climático. En los últimos años, ha quedado claro que las temperaturas han ido subiendo año tras año, provocando posteriores inundaciones y tormentas. Podemos observar diferentes efectos de este factor debido a intensas olas de calor o lluvias. Análisis de estudios previos y consideraciones sobre el tipo de frijol fitorremediador (*Phaseolus*) han establecido que el nivel de captación de metales pesados en los tejidos y componentes de la raza de esta especie da resultados positivos para la remediación de suelos contaminados con este elemento.

La fitorremediación con frijol chaucha es la única leguminosa que puede tolerar y crecer en suelos contaminados con metales pesados y estimular las poblaciones microbianas en la rizósfera contaminada (W. Sangabriel et al., 2019).

Un análisis teórico basado en los antecedentes de la purificación de leguminosas puede definir que las leguminosas estudiadas tuvieron un efecto positivo en la remoción de antraceno del suelo en concentraciones de 200 y 400 mg kg⁻¹. La tasa de remoción fue tan alta como 84% (Pérez et al., 2018).

El objetivo de este estudio es identificar malezas fitoextractoras de cadmio y arsénico en terrenos agrícolas. El estudio se realizaba in situ y se llevaran muestras al laboratorio para ciertas mediciones de calidad, para evaluar el nivel de fitorremediación se puede hacer a nivel experimental, de esta manera se intentará descifrar la relación entre estas variables. Dado el potencial de fitorremediación de esta leguminosa, *Phaseolus vulgaris* L., se está estableciendo como una posibilidad que las malezas que crezcan alrededor de esta son potenciales fitoextractoras resultando como una alternativa para la remediación de suelos contaminados y para aquellos que trabajan en agricultura y aumentan los rendimientos utilizando fertilizantes químicos. Hoy en día, los métodos estadísticos en la investigación son la clave para cuantificar la naturaleza

de las relaciones estudiadas en muchos estudios. Los resultados de los estudios a menudo se presentan en términos de probabilidades (Carpi y Egger, 2008).

1.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

Problema General

¿Cuáles son las malezas fitoextractoras de cadmio y arsénico presentes en terrenos agrícolas con cultivo de frijol “chaucha” (*Phaseolus vulgaris* L.)?

Problemas Específicos

¿Cuál es la concentración de cadmio en la raíz de las malezas fitoextractoras presentes en terrenos agrícolas con cultivo del frijol “chaucha” (*Phaseolus vulgaris* L.)?

¿Cuál es la concentración de arsénico en la raíz de las malezas fitoextractoras presentes en terrenos agrícolas con cultivo del frijol “chaucha” (*Phaseolus vulgaris* L.)?

¿Cuál es la biodiversidad de malezas fitoextractoras presente en terreno agrícola de cultivo de frijol “chaucha” (*Phaseolus vulgaris* L.)?

¿Cuál es la relación en la abundancia de malezas con la concentración de Cd y As presente en las raíces de estas?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

Identificar el tipo de maleza fitoextractora que crecen en terrenos agrícolas de cultivo del frijol “chaucha” (*Phaseolus vulgaris* L.).

Objetivos secundarios

Determinar la concentración de cadmio en la raíz de las malezas fitoextractoras presentes en terrenos agrícolas con cultivo del frijol “chaucha” (*Phaseolus vulgaris* L.)

Determinar la concentración de arsénico en la raíz de las malezas fitoextractoras presentes en terrenos agrícolas con cultivo del frijol “chaucha” (*Phaseolus vulgaris* L.)

Determinar la biodiversidad de malezas fitoextractoras presente en el terreno de cultivo del frijol “chaucha” (*Phaseolus vulgaris* L.).

Relacionar la abundancia de malezas con la concentración de Cd y As presente en las raíces de estas.

1.4 JUSTIFICACIÓN O TRASCENDENCIA DE LA INVESTIGACIÓN

Justificación teórica

La tesis sobre la "*Identificación de malezas fitoextractoras de cadmio y arsénico en terrenos agrícolas con cultivo de frijol chaucha (Phaseolus vulgaris L.) en Huácar - Huánuco, 2024*" se fundamentó en los principios de la fitorremediación, una técnica basada en el uso de plantas para extraer, estabilizar o degradar contaminantes en suelos. Este estudio amplía el conocimiento científico sobre el comportamiento de las malezas y su capacidad para acumular metales pesados, destacando su potencial como herramienta ambiental sostenible. Además, contribuye a la comprensión de la interacción planta-suelo en contextos contaminados, un área con poca investigación en regiones como Huánuco.

Justificación práctica

La contaminación por cadmio y arsénico representa un grave problema para la salud humana y la calidad del suelo agrícola en Huácar. Este proyecto busca identificar malezas autóctonas capaces de fitoextraer estos metales, ofreciendo una alternativa viable y económica para la remediación de suelos. A través de la aplicación práctica de los resultados, se espera mejorar la calidad de los cultivos, minimizar los riesgos ambientales y beneficiar a las comunidades agrícolas locales. Este enfoque representa una solución accesible y replicable en otras áreas afectadas por problemas similares.

Justificación metodológica

La investigación, de enfoque mixto, de tipo descriptivo y correlacional, busca analizar la capacidad fitoextractora de las malezas en terrenos agrícolas contaminados con cadmio y arsénico en Huácar, Huánuco. Para ello, se empleará estadística descriptiva para resumir las concentraciones de metales en el suelo, raíces, tallos y hojas, complementadas con gráficos para visualizar patrones. Además, se realizará un análisis de evaluación mediante los coeficientes de Pearson o Spearman para evaluar relaciones entre variables como pH del suelo y capacidad acumulativa de metales. Finalmente, el Análisis de Componentes Principales (PCA) permitirá identificar asociaciones entre especies y condiciones del suelo, agrupando las malezas según su eficiencia fitoextractora. Este enfoque garantiza resultados rigurosos y reproducibles, proporcionando información clave para estrategias sostenibles de manejo agrícola.

1.5 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La Universidad de Huánuco no cuenta con un laboratorio especializado para análisis de suelos, por lo que fue necesario trasladar muestras a otra institución, generando costos adicionales. Además, se identificó un bajo nivel de conocimiento técnico en la población cercana al área de estudio, lo que limitó el acceso a información local precisa sobre la contaminación ambiental.

1.6 VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

La tesis ha sido posible gracias a la prestación del soporte técnico necesario, incluido el acceso a los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, imprescindible para evaluar las muestras de suelo y realizar los análisis posteriores necesarios para definir los objetivos del proyecto.

Esta tesis fue rentable porque cuentan con los materiales logísticos (movilidad, materiales y recursos humanos) que son importantes para la investigación.

Las especies de malezas que se identificaron en esta investigación son silvestres, se adaptaran a diferentes condiciones climáticas en el área de estudio.

Para el análisis de la investigación se tuvo de apoyo el acceso a la información internacional necesaria y requerida para la formulación del proyecto, para ello se cuenta con la biblioteca virtual de la Universidad Continental, páginas de internet, libros, tesis etc.

La tesis fue viable porque se realizará en un periodo determinado de 3 meses en el año 2024, es el tiempo que el frijol requiere para su crecimiento y así identificar las malezas presentes alrededor de esta leguminosa.

Dado que se tiene en cuenta la gestión económica familiar y personal para determinar los procedimientos y análisis necesarios, la investigación no está financiada por ninguna organización.

La investigación en el aspecto teórico fue viable debido a que se conoce la información mínima para el desarrollo del proyecto de investigación, además que se cuenta con personal docente conocedor del tema que aportará en el desarrollo del estudio y los análisis.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Antecedentes internacionales

Sangabriel et al. (2019) en la revista internacional de contaminación ambiental titulada: “Tolerancia y capacidad de fitorremediación de combustóleo en el suelo por seis especies vegetales” de Veracruz, México tuvo como objetivo determinar la tolerancia y el potencial fitorremediador de cuatro especies de gramíneas (*Brachiaria hybrid*, *Brachiaria brizantha* y *Panicum maximum*) y tres especies de leguminosas (*Clitoria ternatea*, *Phaseolus coccineus* y *Cicer arietinum*) en un suelo contaminado accidentalmente con aceite combustible. La **metodología** tanto para las exhibiciones de suelo contaminado como para el no contaminado, el diseño era en zigzag; a los 90 días se calculó el volumen radical por el método de desplazamiento de la probeta y se determinó el peso seco de la planta recolectando cada órgano y sometiénndose a un período de 72 horas exposición a 70 °C. Para la cuantificación de microorganismos se utilizaron métodos de dilución y conteo viable de unidades formadoras de colonias (UFC) cultivadas en cajas Petri en el respectivo medio. Como **resultado**, todas las plantas de *Clitoria ternatea* (Clt) y *Clitoria arietinum* (Car) murieron dentro de los 42 a 56 días en SC, dependiendo de la leguminosa. La única especie que mostró tolerancia a la gasolina fue *P. coccineus* (Pcocc), se observó un 50% de supervivencia al final del experimento después de 90 días. Las otras cuatro especies que demostraron tolerancia, adaptación y crecimiento en SC. Se **concluyó** que la única especie de planta leguminosa que podía tolerar, crecer y fomentar la población microbiana de la rizosfera contaminada era *Phaseolus coccineus*. Esta leguminosa puede tener uso en la fitorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos.

Aghelan et al. (2021) en artículo de investigación “Evaluación de algunos agentes quelantes sobre la eficiencia fitorremediadora de *Amaranthus caudatus* L. y *Tagetes patula* L. en suelos contaminados con plomo” publicado en el Journal of Environmental Health Science and Engineering, Estados Unidos, tuvo como **objetivo** evaluar los posibles efectos de algunos agentes quelantes sobre la eficiencia de la fitorremediación y los parámetros de crecimiento de las plantas de *Amaranthus caudatus* L. y *Tagetes patula* L. en suelos contaminados con plomo. La **metodología** Las especies de plantas se cultivaron en macetas y se trataron con nitrato de plomo y en combinación con 2,5, 2,0 y 2,5 mmol/kg de EDTA, SA y CA, respectivamente. Como **resultado** se demostraron que las mayores acumulaciones de Pb (mg/kg) con 0,74 y 0,13 se encontraron en las raíces y tallos de *A. caudatus* expuestos a 400 mg/kg de Pb que contenían EDTA y SA, respectivamente. Además, la mayor acumulación de Pb en las raíces y tallos de *T. patula* con 0,87 y 1,5 mg/kg se observó en suelos contaminados con 400 mg/kg de Pb que contenían SA. Se **concluyó** que si bien los resultados obtenidos mostraron que *T. patula* tendría un mejor potencial de fitoextracción que *A. caudatus*, cabe señalar que debido al comportamiento del Pb en el suelo y/o lixiviación de Pb de las columnas del suelo durante el período de riego las bajas cantidades de absorción de Pb por la parte aérea de las plantas en comparación con las dosis de solución de $Pb(NO_3)_2$ agregadas a las muestras de suelo, implican que las plantas estudiadas no tienen el potencial adecuado para la fitoextracción de Pb de suelos contaminados en la parte aérea, sin embargo por la raíz hubo una absorción más significativa.

Khoramnejadian y Saeb (2015) en el artículo de titulada: “Accumulation and translocation of heavy metals by *Amaranthus retroflexus*” traducido como Acumulación y translocación de metales pesados por *Amaranthus Retroflexus* publicados en la revista *Journal of Earth, Environment and Health Sciences*, de la Universidad Islámica de Azad, Teherán, Irán tuvo como **objetivo** este artículo se ha estudiado la fitorremediación de metales pesados (Cr, Cd, Cu y Ni)

mediante amaranto y trébol persa. Para la **metodología** se prepararon muestras de suelo con diferentes cantidades de contaminación. Las muestras de suelo contaminado se mantuvieron en invernadero y *Amaranthus retroflexus* se cultivó en macetas de polipropileno. Se analizó la cantidad de metales pesados en las muestras de suelo antes y después del cultivo. Se dio como **resultados** que la cantidad de metales pesados en el suelo disminuyó después de 120 días de cultivo. Se midieron las acumulaciones de metales pesados en los tejidos vegetales. Se calculó el factor de translocación (FT). TF de la raíz a la parte superior de las plantas en el orden de $Cr > Cu > Ni > Cd$ y TF de la raíz a la parte superior de las plantas en el orden de $Ni > Cr > Cd > Cu$. Los amarantos eran resistentes a las elevadas cantidades de metales pesados presentes en el suelo. Los resultados indican que *Amaranthus retroflexus* tiene una buena capacidad para eliminar metales pesados de suelos contaminados. Se **concluyó** que, de acuerdo con los resultados, la fitorremediación con *Amaranthus retroflexus* es una opción buena y económica para remediar los lugares contaminados.

Las plantas presentes de forma natural en la zona, como las hiperacumuladoras, son necesarias para reducir y/o prevenir el aumento de la contaminación.

Antecedentes nacionales

Reyes y Villanueva (2021) en su tesis: Diseño de una propuesta ambiental para la fitoextracción de metales pesados utilizando el género *amaranthus* sp, para la restauración de suelos contaminados por la Minera Quiruvilca SA- La Libertada, Universidad Privada del Norte, Perú. Tuvo como **objetivo** diseñar una propuesta ambiental para la fitoextracción de metales pesados (arsénico, cadmio y plomo) utilizando el género *Amaranthus* sp. para la restauración de suelos contaminados por la minera Quiruvilca S.A. en La Libertad, Perú. La **metodología** de este estudio fue de de tipo descriptiva-propositiva con diseño no experimental longitudinal. Se seleccionaron y analizaron 15 estudios científicos sobre fitoextracción en suelos contaminados con metales pesados. Se evaluaron tres géneros vegetales (*Amaranthus*, *Helianthus* y *Urtica*) y se realizaron diagnósticos basados en el D.S N° 011-2017 MINAM-ECA para suelos. Los **resultados** de esta investigación demostraron que las malezas *Amaranthus*, *Helianthus* y *Urtica* como eficaces para la fitoextracción de metales pesados. *Amaranthus* mostró ser el más adecuado debido a su alta eficiencia en la remoción de metales y su adaptabilidad a las condiciones del suelo en la zona de estudio. Se **concluyó** en esta investigación que el género *Amaranthus* se adapta mejor a las condiciones del suelo y es eficiente en la remoción de metales pesados, siendo una opción viable para la fitorremediación de suelos contaminados por la actividad minera en Quiruvilca.

Mago y Muro del Valle (2022) en la Tesis de licenciatura de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo titulada: “Malezas con potencial para la fitorremediación de suelo contaminado con plomo del botadero de residuos sólidos municipales de Reque, Lambayeque” tuvo como **objetivo** determinar el potencial de malezas para la fitorremediación de suelo contaminado con plomo en el botadero de residuos sólidos municipales de Reque, Lambayeque. La **metodología** que se utilizó en esta tesis fue hacer análisis físicos, químicos y microbiológicos del

suelo. Se seleccionaron malezas tolerantes a 800 ppm de plomo, y se evaluaron las características de promoción de crecimiento vegetal de bacterias rizosféricas asociadas. Las plantas seleccionadas se trasplantaron en suelos contaminados y no contaminados, y se aplicaron consorcios bacterianos para analizar su influencia en el crecimiento de las malezas y la fitotoxicidad del suelo. Como **resultado** se identificaron las malezas *Echinochloa colonum*, *Cyperus corymbosus* y *Sorghum halepense* como tolerantes al plomo. Las bacterias rizosféricas asociadas solubilizaron fosfato tricálcico y produjeron ácido indol acético, incrementando la biomasa fresca de las malezas. El suelo con menor fitotoxicidad se obtuvo con *E. colonum* + consorcio bacteriano 1, logrando una remoción del 78,83 % de plomo. Se **concluyó** que el *E. colonum* (maleza) con el consorcio bacteriano demostró la mayor eficiencia en la remediación del suelo contaminado con plomo, sugiriendo que la combinación de estas malezas y bacterias rizosféricas es efectiva para la fitorremediación de suelos contaminados.

Bendezu y Chavez (2023) en la tesis “Efecto de enmiendas orgánicas en la fitorremediación de cadmio por coquito (*Cyperus rotundus* L.) en un suelo contaminado” de la Universidad Continental, Huancayo-Perú tuvo como **objetivo** determinar el efecto de las enmiendas orgánicas en la fitorremediación de cadmio por *Cyperus rotundus* L. en un suelo contaminado de Sincos. En la **metodología** se recolectó una muestra de suelo agrícola con 8.77 mg/kg de Cd y se colocó en macetas de cuatro kilogramos. Se aplicaron tratamientos de Microorganismos Eficaces (EM) al 5%, lombricompost (LC) al 20%, ácido etilen diamino tetraacético (EDTA) al 0.1%, combinaciones de estos, y un control. En cada maceta se trasplantó *Cyperus rotundus* L. Se evaluaron el contenido de Cd en partes aérea y radicular, materia seca, Factor de Bioconcentración (FBC), Factor de Traslocación (FT) y contenido de Cd en el suelo al final del experimento. El tratamiento LC+EDTA incrementó el Cd en la parte aérea. Como **resultado** que el LC incrementó la materia seca aérea. El factor de bioacumulación

(FBC) fue superior con el tratamiento EDTA+LC y EDTA+EM. El factor de traslocación (FT) fue mayor que 1 en todos los tratamientos. Se **concluye** que fue el LC el que redujo significativamente la concentración de Cd en el suelo de Sincos, logrando un 35.35% de reducción de este metal pesado. No se encontró diferencias significativas en la concentración de Cd en la raíz, materia seca radicular, FBC en raíces y total.

Antecedentes locales

Paredes (2021) En su trabajo: Efecto de la fitorremediación utilizando dos especies de ortiga (*Urtica urens* L.) y (*Urtica dioica* L.) sobre la calidad del suelo aplicado a la intemperie en Marabamba, Provincia y Huánuco - Universidad de Huánuco., Huánuco, Perú. El objetivo del estudio fue demostrar los beneficios del tratamiento botánico con dos especies de ortiga (*Urtica urens* L.) y *Urtica dioica* L.) para mejorar la calidad del suelo para su uso como vertedero a cielo abierto. Este método es experimental con dos conjuntos de manipulaciones y cuatro repeticiones. Se analizaron los parámetros biológicos, físicos y químicos del suelo para determinar el impacto. Se han agregado al estándar tres metales pesados (plomo, zinc y cadmio). La calidad ecológica de los recursos de la tierra (ECA) es aprobada por Decreto Supremo No. 011-2017-MINAM. Los resultados mostraron que el suelo finalmente clasificado como de textura arcillosa, similar a la ortiga entera, afectó significativamente al individuo con una reducción de plomo de 80,5 ppm. y 1,64 ppm Cd y *Urtica urens* L. y 92,5 ppm de plomo. y 1575 ppm Cd para *Urtica dioica* L., mientras que el valor de pH para *Urtica dioica* L. varía de 7,38 a 7,8 y está en el rango ligeramente alcalino, mientras que *Urtica dioica* L. P_{avist} MO = 0,4975 ppm; N=0,0075%; P = 11,75 ppm y K = 44,25 ppm, L de ortiga. tierra MO = 0.195, N = 0.0075%, P = 06 ppm y K = -7.5 ppm, (pH ligeramente alcalino 7.39) a moderadamente alcalino (7.9) con *Urtica urens* L. La gente descubrió que *Urtica urens* L, una variedad de alfalfa, tenía un efecto positivo en la química del suelo (pH, MO, P, N y K), reducción de metales pesados (Pb y Cd) y estimulación microbiana. *dioica* L tuvo un impacto negativo en los mismos parámetros considerados en el estudio.

Santiago (2019) en tesis de maestría: Impacto de gramíneas (*zea mays*) y leguminosas (*phaseolus vulgaris*) en la calidad del suelo San Juan de Miraflores, Municipio de San Francisco de Cairán - Huánuco, 2019, Universidad de Huánuco, Huánuco, Perú. Su propósito fue

demostrar el impacto de los cultivos de gramíneas (*Zea Mays*) y leguminosas (*Phaseolus vulgaris*) en el mejoramiento de la calidad del suelo de San Juan de Miraflores, en San Francisco de Cairán - Condado de Huánuco en el año 2019. El método utilizado para el muestreo es una prueba no probabilística; Este tipo de prueba es intencional o condicional ya que beneficia mi criterio personal. Cada sitio de estudio cubre un área de aproximadamente una hectárea, y se tomaron cinco muestras de suelo de acuerdo a las diferentes características topográficas del sitio, dando como resultado un total de 10 muestras: cinco muestras del laberinto y cinco del área libre de hielo. Los resultados de este estudio por análisis físico fueron la presencia de arcilla tanto durante como después del estudio de tamaño (1,30 g/cm³ antes y después, 1,24 g/cm³ para laberinto. arco y 1,18 g/cm³ antes y después de 1,15 g/cm³). Por lo tanto, se puede demostrar que es un suelo ideal para la escala de distribución granulométrica determinada para diferentes cultivos, pero sin cambios significativos. En particular, K aumentó más con un cambio positivo de 8,20% y Pb disminuyó más a (-5,76%), mientras que N y MO disminuyeron, pero se mantuvieron estables. Las mediciones de Al, H, ICCe y CD no se registraron porque no todos estos resultados fueron estadísticamente significativos para los fines del estudio. De los indicadores biológicos medidos, se puede ver que después de la intervención de frijol y arveja, la densidad promedio de ganado aumentó (18,9%), pero la densidad de ganado mayor disminuyó marcadamente (85,8%). Se evaluaron los parámetros biológicos medidos para las plantas de maíz. Se estimó que la densidad media del laberinto aumentó en un 500% después de la intervención; Sin embargo, al mismo tiempo, la densidad de plantas en el laberinto aumentó y el número de aves grandes disminuyó significativamente (75,5 %). Conclusión: No hubo un efecto estadísticamente significativo del cribado de granos semimolidos (*Zea mays*) y leguminosas (*Phaseolus vulgaris*) sobre la calidad física y química del suelo, pero sí una biología por cribado. o el uso de productos químicos ha llevado a la extinción de un número importante de especies.

2.2 BASES TEORICAS

Extracción con componentes vegetales (fitoextracción)

La extracción de plantas es el proceso de absorción de contaminantes del suelo por las raíces de las plantas y su transferencia a las partes aéreas o cualquier parte de la colección para eliminarlos y garantizar la purificación a largo plazo de la tierra. Un proceso conocido como extracción de planta utiliza plantas medicinales para remover, migrar, estabilizar, concentrar y/o destruir contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos y lodos y sedimentos. También se puede utilizar como una herramienta de investigación de campo. Varios mecanismos de tratamiento de plantas también incluyen la pudrición de la raíz, la pudrición de la planta y la digestión (Volke y Velasco, 2002).

El término fitoextracción se refiere a métodos avanzados de limpieza de suelos, agua, sedimentos y otras superficies contaminadas utilizando plantas vivas y microorganismos asociados con su biosfera, separando, descomponiendo o estabilizando ciertos contaminantes. La principal fuerza impulsora detrás del desarrollo de esta tecnología es su asombrosa capacidad para rehabilitar sitios contaminados a bajo costo y brindar beneficios tangibles a quienes la usan (Volke y Velasco, 2002).

El concepto de biorremediación abarca a varios autores como Velasco y Volke (2003) quienes definen a la biorremediación como un conjunto de sistemas que utilizan a organismos pequeños como el caso de plantas, hongos, bacterias, entre otros con el fin u objetivo de remover, degradar, extraer, biodegradar, transformar o biotransformar compuestos contaminantes y tóxicos en productos simples con menor grado de toxicidad e inocuos.

Estos mismos autores, Velasco y Volke (2002), en un trabajo de la Universidad Abierta y a Distancia de México explican que es una

alternativa recomendable para la limpieza de espacios contaminados pues se trata de una tecnología que ofrece la posibilidad de disminuir o hasta destruir los diversos contaminantes orgánicos e inorgánicos solo empleando la actividad biológica de diferentes tipos de microorganismos, también ofrece otros beneficios en comparación con otras técnicas debido a su relativo bajo costo, ser una tecnología considerada simple, con abundancia de materiales y opciones para su desarrollo, además de una aceptación pública por el uso de microorganismos.

Un concepto de biorremediación actual es el que da Chivirí et al. (2019), que dice que para la biorremediación se utiliza una diversidad de microorganismos y/o sus derivados metabólicos, los cuales pueden llegar a transformar o acumular contaminantes xenobióticos, tales como compuestos derivados de diversas industrias como la petrolera, agropecuaria, minera y manufacturera, entre muchas otras.

Fitodegradación o Fitotransformación:

Considerar la capacidad de las plantas para descomponer y/o reducir sustancias tóxicas a otras menos tóxicas, independientemente de que hayan sido contaminadas con materia orgánica o algún tipo de hidrocarburo (pesticidas, insecticidas, químicos, etc.), explosivos, surfactantes, etc.). Estas plantas tienen una reacción enzimática y mediante el uso de estas plantas, los contaminantes que pueden ingresar al suelo serán total o parcialmente descompuestos, dependiendo del tipo de control de especies implementado. Esto significa que cualquier tipo de suelo contaminado puede ver los beneficios de la recuperación. Estas plantas tienen reacciones enzimáticas y microbianas a nivel de biosfera.

En pocas palabras un proceso que utilice pequeños organismos, que con la ayuda de sus aptitudes metabólicas eliminen, biotransformen o neutralicen los contaminantes en un determinado espacio o ecosistema. Explica que la biorremediación se basa en la digestión de

sustancias orgánicas e inorgánicas de microorganismos, en la mayoría de casos estos organismos degradan los compuestos xenobióticos con el objetivo de conseguir su fuente de carbono necesaria para su desarrollo y fuente de energía para los procesos metabólicos que se desarrollan dentro de estos, todo esto para un correcto crecimiento, desarrollo y proliferación del individuo. Para aportar a los conceptos, Iturbe (2010), explica que la biorremediación es una técnica que limpia espacios contaminados de manera sencilla, fácil y práctica; debido al uso de microorganismos que viven en diferentes ecosistemas en la naturaleza.

Mientras que el Gobierno de Chile (2019) explica que las tecnologías de remediación biológica fueron desarrolladas para mejorar y acelerar el proceso natural que tienen los suelos y el agua para la recuperación de las condiciones idóneas de este medio, como las características físicas, químicas y biológicas. Este procedimiento es logrado mediante la mejora de la capacidad natural de organismos pequeños para biodegradar o bioeliminar contaminantes en un medio, tan solo proporcionando las condiciones esenciales para el crecimiento y la biodisponibilidad del contaminante, de esa manera reduciendo el estrés o problemas causados por la presencia de un contaminante en un determinado ecosistema o ambiente.

Velasco y Volke (2002) coinciden con el uso de microorganismos como otros autores, pero aporta con la información de que en la biorremediación se utilizan organismos del sitio contaminado, lo llamados microorganismos autóctonos; o ajenos al lugar, los llamados microorganismos exógenos. Además, que explica que este proceso se puede dar en condiciones aerobias, cuando se desarrolla en presencia de oxígeno; y las condiciones anaerobias, las situaciones sin oxígeno. Los procesos de biorremediación se han usado con muchos logros para tratar suelos, lodos y sedimentos alterados por hidrocarburos totales de

petróleo (HTP), explosivos, solventes, pesticidas, clorofenoles, e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP).

Iturbe (2010) detalla que en la biorremediación se usan microorganismos para degradar contaminantes, en pocas palabras explica que estos microorganismos tienen como hábito o método de supervivencia comer algunas sustancias químicas que son tóxicas y nocivas para el medio ambiente, algunos de estos compuestos son los hidrocarburos como la gasolina, el petróleo, el kerosene, entre otros. Cuando los microorganismos degradan los hidrocarburos, estos lo biotransforman en agua y dióxido de carbono, estos compuestos son de tratamiento sencillo en comparación con el hidrocarburo.

Además de explicar que es la biorremediación algunos autores, entre estos Velasco y Volke (2002) recomiendan que para que este proceso sea eficiente y de buenos resultado es necesario que los microorganismos ataquen enzimáticamente a los contaminantes y los conviertan en productos inocuos y de fácil o nulo manejo después de este proceso. Este proceso solo puede ser eficaz cuando las condiciones ambientales permiten la actividad y crecimiento microbiano, la aplicación de esta medida de remediación abarca la manipulación de las condiciones ambientales para permitir el crecimiento microbiano, optimizando la biorremediación.

Fitoestimulación:

En este caso, la teoría, basada en el conocimiento de las plantas, funciona estimulando el crecimiento de microorganismos de forma simbiótica, otorgándoles la capacidad de descomponer materia orgánica, nutrientes, enzimas, oxígeno, azúcares simples, almidones, aminoácidos. Los compuestos de ácidos grasos y los compuestos aromáticos que las plantas liberan fácilmente durante el metabolismo normal pueden promover el crecimiento de varias comunidades microbianas en el suelo circundante, especialmente el crecimiento de

algunas bacterias y hongos en el suelo circundante durante el metabolismo. Esta acción da como resultado toda mineralización de contaminantes en el suelo que ya está contaminado de alguna manera y requiere remediación. Estos contaminantes incluyen los que se transfieren de las hojas a los tallos y las poblaciones raciales (Flasco, 2020).

Fito-estabilización:

La estrategia se basa en el uso de plantas que normalmente crecen más en sus sistemas radiculares, reduciendo así la biodisponibilidad de algunos minerales y otros contaminantes tóxicos en el ambiente a través de sistemas especiales de secuestro, compactación o hidratación. Estos extensos sistemas de raíces controlan la acción hidráulica en el área contaminada, es decir, participan en la mayor parte del ciclo del agua a través de la transpiración, extrayendo agua del suelo y funcionando. Además, con este proceso se puede mantener la humedad deseada en la zona de la biosfera, lo que crea las condiciones óptimas para la fijación de minerales u otros contaminantes. Esto ocurre como resultado de reacciones químicas (como la precipitación) o mecanismos físicos (como la adsorción) para formar complejos insolubles. En esta región, los minerales siempre se encuentran firmemente fijados en las raíces de las plantas, así como en la materia orgánica del suelo, lo que limita su biodisponibilidad y su respectiva migración o depósito en el suelo (Sandoval, 2017).

Fitoacumulación:

Se basa en la capacidad que tienen ciertas plantas de acumular contaminantes en los tejidos vegetales (semillas, tallos y hojas) para facilitar su recolección. La mayoría de los contaminantes producidos se convierten en metales pesados, pero también pueden producirse como otro tipo de contaminantes, como elementos orgánicos y sustancias radiactivas. Microorganismos

Para Iturbe (2010), los microorganismos son organismos pequeños que se desarrollan en el vasto ecosistema del planeta, o en pocas palabras, en toda la naturaleza. Se pueden ubicar dentro del cuerpo humano y de los animales, también en las plantas, en espacios y ecosistemas acuáticos, terrestres, y hasta en el aire. No hay lugar que no exista microorganismos. También se define como microorganismo a un organismo unicelular de tamaño promedio de una micra. Iturbe (2010) dice que en una muestra de suelo existen desde miles hasta millones de ellos. Los organismos pequeños terrestres son en su mayoría bacterias, actinomicetos, protozoos, algas y hongos.

Para Velasco y Volke (2002) los microorganismos se pueden subdividir en varios grupos como son los siguientes:

Aerobios. Crecen y se desarrollan en presencia de oxígeno. Algunos ejemplos de bacterias reconocidas por sus habilidades para degradar contaminantes son las *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Sphingomonas*, *Rhodococcus* y *Mycobacterium*. Estos microorganismos se reportan como excelentes degradadores de compuestos como los hidrocarburos y pesticidas, los cuales comparten la característica de estar compuestos de agua (H₂O) y moléculas inorgánicas formadas por carbono.

Anaerobios. Crecen y se desarrollan en ausencia de oxígeno. A diferencia de los microorganismos aerobios, los anaerobios son utilizados con menor intensidad. Sin embargo, existe un creciente interés en los microorganismos anaeróbicos para emplearlos en la remediación biológica de los bifenilos policlorados (PCB), en la decoloración del tricloroetileno (TCE), y cloroformo.

Hongos ligninolíticos. Estos microorganismos tienen la habilidad de biodegradar una diversidad de contaminantes ambientales persistentes o tóxicos. Un ejemplo de estos es el hongo de pudrición blanca *Chrysosporium Phanaerochaete*.

Metilótrofos. Los metilótrofos son bacterias de características aeróbicas que utilizan al metano como fuente de energía y carbono, este está presente en varios contaminantes. Este tipo de microorganismos son usados de preferencia para contaminantes clorados.

Microorganismos biorremediadores

Brutti (2018) fuera del concepto de lo que son los microorganismos explica simplemente que los microorganismos biorremediadores son aquellos que se utilizan en el proceso de remediación biológica, estos están distribuidos por toda la naturaleza y que poseen la capacidad de utilizar diferentes compuesto de características xenobióticas como fuente de carbono, pero la densidad poblacional de estos es limitada en los sitios contaminados y se reduce drásticamente en lugares impactados por un contaminante, por eso es muy importante que el ser humano aplique este tipo de técnica en la remediación de sitios contaminados. Los organismos bacterianos son el grupo más utilizado por la variedad de géneros y especies, y por la versatilidad metabólica de su organismo. Los consorcios son individuos que representan mayor acción biodegradativa por la acción en conjunto y las actividades especializadas de cada especie.

Procesos de biorremediación

Para Chiriví et al. (2019) la forma de categorizar las técnicas de biorremediación más frecuente y las más entendible al público en general es nombrarlo usando su agente remediador, los cuales pueden ser plantas, hongos, bacterias, enzimas, mezclas o consorcios; otra forma de categorizarlos son por la ubicación de la técnica de remediación biológica que puede ser en el lugar o fuera del lugar; y por último la metodología de implementación, las cuales pueden ser evaluando el área de estudio hasta la eliminación o reducción del contaminante, modificando las condiciones para estimular los organismos nativos, introduciendo organismos eficientes en términos

de degradación biológica, entre otros. La clasificación para los métodos o procesos de remediación biológica no son excluyentes, es más, buscan en su combinación facilitar la elección del mejor proceso para reducir o eliminar de manera efectiva un contaminante de cualquier naturaleza.

El frijol chaucha

En el caso del frijol chaucha, es de interés examinar las principales ventajas y desventajas ambientales del cultivo de la hierba frijol. El impacto de las prácticas agrícolas y de ingeniería en el medio ambiente es cada vez más importante en los círculos políticos, agrícolas y de ingeniería. Las ventajas ambientales de cultivar frijol son sustanciales y van desde su atractivo como fuente natural de vitaminas, minerales y proteínas, a diferencia del uso de suplementos sintéticos, hasta su atractivo en los paisajes y su papel en los esfuerzos de conservación para salvar vida silvestre (Trocme,1979).

Frijol Phaseolus

La taxonomía de esta leguminosa es:

- Dominio: Eukaryota
- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Fabales
- Familia: Fabaceae
- Género: Phaseolus
- Especie: Phaseolus vulgaris L.

Es una legumbre importante rica en vitaminas; contiene 94,8% de agua, 1,2% de proteína, 0,2% de grasa y 2,9% de carbohidratos. En su forma cruda, contiene altas dosis de vitaminas A, B, B, C y E, así como

minerales. Las leguminosas cultivadas son esenciales para la salud del suelo (Trocme, 1979).

Ventajas y desventajas de la extracción por componentes vegetales

Para una tecnología sustentable dan ciertas recomendaciones, debe ser económica y las actividades deben ser amigables con el medio ambiente. Se sabe que el método de fitorremediación utiliza la capacidad natural de las plantas y el sistema basado en ellas para mejorar el suelo, es mucho más económico que utilizar métodos tradicionales de restauración de suelos, y restauración de suelos afectados por contaminantes (Sandoval, 2017).

Velasco y Volke (2003) explica que las tecnologías más comunes son las siguientes:

Bioestimulación. Este proceso implica la aplicación de oxígeno y/o nutrientes al suelo alterado con el objetivo de mejorar la actividad de los microorganismos del lugar, y con ellos la degradación biológica de los contaminantes, reduciendo o eliminando la presencia de estos.

Bioaumentación. Este proceso consiste en la aplicación de microorganismos vivos, como los hongos, bacterias y algas, que tienen la capacidad de biodegradar los contaminantes, de esa forma reduciendo la presencia de los contaminantes.

Bioventeo. Esta técnica consiste en estimular la degradación biológica aerobia de una sustancia tóxica por medio de la adición de aire en el lugar contaminado, en pocas palabras es la aplicación de aire en forma de viento con el fin de biodegradar los contaminantes en el suelo.

Fitorremediación. En esta técnica se utilizan plantas para concentrar, transferir, estabilizar, remover y/o destruir contaminantes

(inorgánicos y orgánicos) en el suelo, sedimentos y también en ecosistemas acuáticos.

Biorreactores. Es la medida de acción adecuada para casos en que los peligros potenciales de descargas y emisiones sean serios y necesitan una solución instantánea. Permite la combinación manipulada y eficiente de procesos biológicos, físicos y químicos; que mejoran y aceleran la degradación biológica de un contaminante.

Biorremediación en fase sólida. Este tipo de tecnología generalmente se lleva a cabo fuera del lugar contaminado, e incluye como procesos complementarios el compostaje, las pilas alargadas y las pilas estáticas.

Iturbe (2010) añade a lo explicado por el autor que la técnica de biopilas consiste en formar pilas con el suelo alterado y estimular el metabolismo microbiano con la aplicación de aire, agua y fertilizantes que contengan fósforo y nitrógeno, en un ambiente con temperaturas elevadas mayores a los 15 °C, el aire es aplicado usando un compresor mecánico. Las biopilas se construyen en capas de 30 cm de altura y después de cada capa se coloca la tubería por la cual se va a introducir el aire con el compresor, para que los organismos pequeños tengan oxígeno suficiente y se estimulen optimizando la degradación biológica de los contaminantes. Además, que en el caso de la técnica del bioventeo la aplicación de las ráfagas de aire se realiza con equipos mecánicos como las retroexcavadoras y los tractores.

2.2.1 CALIDAD DEL SUELO

La capacidad de un sistema para proporcionar una variedad de funciones se correlaciona con la calidad del suelo. Debido al hecho de que está hecho principalmente de carbono orgánico, la proporción de material orgánico afecta el funcionamiento de estas funciones. Se cree que la falla ha cambiado el equilibrio de los ecosistemas naturales y sus condiciones ambientales y, por lo tanto, la relación de carbono

orgánico se fija en el suelo. La vegetación siempre aporta los nutrientes y el agua necesarios durante su desarrollo, así como el dióxido de carbono atmosférico cuando se realiza la imagen óptica, que también contribuye a la biomasa. Las sustancias húmicas se reducen de varias formas, del 0,5 % al 5 %, según la actividad microbiana en los niños pequeños y la aceleración y el desarrollo de tipos específicos de ceguera que contienen los microbios. Suelen obtenerse descomponiendo las partes orgánicas del suelo cuando el ecosistema está en equilibrio; la cantidad de humus se obtiene por la acción de microorganismos (Horra, Serrano, et al, 2008).

La idea se basa en que todas las características físicas, químicas y biológicas que definen y controlan el crecimiento y desarrollo del suelo, la vegetación que lo sustenta y el comportamiento de los seres vivos contribuyen a su potencial de fertilidad (Horra, Serrano, et al, 2008).

Suelo

Es un organismo complejo y activo que se considera la capa portadora de vida en la Tierra. Los minerales y la materia orgánica, así como el agua y el aire, son sus constituyentes. En general, la arena, los sedimentos y las partículas de arcilla son minerales compuestos por diferentes elementos químicos, mientras que los organismos vivos (plantas, bacterias, hongos, animales y sus restos) son la fuente de los componentes orgánicos. Los suelos son importantes para la biodiversidad porque son un reservorio de ensamblajes biológicos. Se estima que un tercio o un cuarto de todos los organismos crecen solo en el suelo. La biodiversidad de la Tierra incluye gusanos redondos, peces, lombrices de tierra, lombrices de tierra y topos, y se puede encontrar una variedad de organismos, incluidas bacterias microscópicas visibles y bacterias que solo se pueden ver con un microscopio. Dentro de cada uno de estos grupos hay muchas especies diferentes. Por ejemplo, hay 50 especies muy diferentes de

Meridiophodon en Alemania. Además, generalmente se acepta que la biodiversidad del suelo es mayor que la biodiversidad de la superficie en la misma área. Se estima que cada año se descubren hasta dos mil especies de invertebrados. metros cúbicos de superficie forestal (Puigdefabregas, Thompson et al., 1980).

En muchos países industrializados, el uso de la tierra se ve obstaculizado por la contaminación del suelo procedente de diversas fuentes. Las decisiones sobre limpieza, gestión o retirada de tierras contaminadas se basan en diversas consideraciones, entre ellas los riesgos para la salud humana, pero los argumentos ecológicos no ocupan un lugar destacado en tales evaluaciones. En este artículo se analiza por qué debería ser así y qué pueden mejorar la ecotoxicología y la ecología teórica en esta situación. Parece que la evaluación del suelo adolece de una debilidad fundamental, que tiene que ver con la ausencia de un marco comúnmente aceptado que pueda servir de referencia. La contaminación del suelo puede evaluarse tanto desde una perspectiva funcional como estructural (Puigdefabregas, Thompson et al., 1980).

Estructura

La estructura del suelo se refiere a la organización y disposición de las partículas sólidas del suelo (arena, limo y arcilla) y los espacios porosos entre ellas. Estas regulaciones afectan directamente las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Componentes de la estructura del suelo:

Partículas Minerales: Fragmentos de roca y minerales que forman la matriz sólida del suelo. Se dividen en arena (partículas grandes), limo (partículas medianas) y arcilla (partículas muy finas).

Materia Orgánica: Restos de plantas y animales en diferentes estados de descomposición, que contribuyen a la formación de agregados del suelo.

Espacios Porosos: Huecos entre las partículas sólidas que contienen aire y agua. Los poros pueden ser grandes (macroporos) o pequeños (microporos).

Textura

La textura del suelo se refiere a la proporción relativa de diferentes tamaños de partículas minerales en el suelo. Las partículas se clasifican en tres categorías principales: arena, limo y arcilla. Texturas de suelo más comunes:

- Arenoso: Predominio de partículas de arena. Suelos sueltos y de rápido drenaje.
- Franco Arenoso: Mezcla de arena con una cantidad menor de limo y arcilla. Buena aireación y drenaje.
- Franco: Mezcla equilibrada de arena, limo y arcilla. Considerado ideal para la agricultura por su balance entre retención de agua y drenaje.
- Franco Limoso: Predominio de limo con menor cantidad de arena y arcilla. Buena retención de agua y fertilidad.
- Arcilloso: Predominio de partículas de arcilla. Alta capacidad de retención de agua y nutrientes, pero pobre drenaje.
- Franco Arcilloso: Mezcla de arcilla con cantidades significativas de arena y limo. Mejor drenaje que los suelos arcillosos puros.

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es una medida de la capacidad del suelo para almacenar y proporcionar cationes importantes como calcio, magnesio, potasio y sodio a las plantas. Es importante para la fertilidad del suelo porque afecta la disponibilidad de nutrientes y la protección del suelo contra los cambios de pH. La CIC se ve afectada por la textura del suelo, el contenido orgánico y la arcilla. Mejorar el uso de fertilizantes y aumentar el rendimiento agrícola aumentando la CIC agregando materia orgánica y modificando el suelo.

Porosidad

La porosidad del suelo es la proporción de espacios en el suelo ocupados por el aire y el agua. Es importante para determinar la capacidad del suelo para retener agua y escurrirla, así como la capacidad de los dientes de las raíces para expandir el aire, lo cual es importante para la respiración y las infecciones microbianas. La porosidad depende de la textura, estructura y contenido orgánico; Los suelos con buena estructura tienen mayor porosidad y los suelos compactados tienen menor porosidad.

Materia orgánica

La materia orgánica del suelo está formada por plantas y animales en diversas etapas de descomposición y es importante para la salud del suelo. Proporciona nutrientes esenciales, mejora la estructura del suelo, aumenta la retención de agua y la aireación y favorece la actividad microbiana. Además de ser importante para la fertilidad del suelo y el crecimiento de las plantas, su presencia también lo es para promover la estabilidad de los ecosistemas y mitigar el cambio climático mediante el almacenamiento de carbono.

Color del suelo

La naturaleza de los elementos, la temperatura y movimiento del agua en el suelo y todo lo relacionado con esta naturaleza, incluyendo la presencia de organismos vivos, la composición del suelo, etc., están relacionados con el porcentaje de materia orgánica. Los fenómenos y procesos que han ocurrido en la Tierra desde la antigüedad hasta nuestros días son fácilmente identificables. Luego se dan varios perfiles que pueden reflejar otras propiedades físicas de la arena (Puigdefabregas, Thompson et al., 1980).

Estrategias de remediación

El INECC (2007) precisa que hay tres estrategias básicas que pueden usarse separadas o en conjunto, para remediar la mayoría de los sitios contaminados:

Modificación o destrucción de los contaminantes. Este tipo de tecnologías busca alterar químicamente el contaminante.

Separación y extracción. Los contaminantes se separan y/o extraen del medio alterado, aprovechando sus propiedades químicas y físicas como la volatilización, solubilidad y la carga eléctrica.

Inmovilización y aislamiento del contaminante. Los contaminantes son estabilizados, solidificados o contenidos con el uso de métodos químicos y físicos.

Ubicación de la remediación

Según la INECC (2007) los procedimientos in situ son las aplicaciones en las que el suelo contaminado es tratado, o bien, los contaminantes son removidos del suelo contaminado, sin necesidad de excavar el sitio. Es decir, se realizan en el mismo sitio en donde se encuentra la contaminación. Mientras que los procedimientos ex situ requieren de excavación, dragado o cualquier otro proceso para remover el suelo contaminado antes de su tratamiento que puede realizarse en el mismo sitio o fuera de éste.

Pardo amarillo

El aspecto característico de este color se debe a la presencia de óxido de hierro (FeO) soluble en agua, que se adhiere a arcillas y materiales orgánicos (Puigdefabregas, Thompson et al., 1980).

Color rojizo

Es característico de los suelos arcillosos y suele presentarse en suelos profundos (Bw) o (Bt). Esto se debe a que la hematita (Fe_2O_3) puede liberar óxidos de hierro. Esto se aplica a climas cálidos con una estación seca prolongada, como el Mediterráneo. Este color también indica que el suelo está bien drenado, lo que permite condiciones oxidativas (Puigdefabregas, Thompson et al., 1980).

Grises y veteados

Caracterización de suelos permanentemente humedecidos por aguas subterráneas en función del coeficiente redox. Están pigmentados y aparecen en colores rojo, amarillo y gris. Esta característica se encuentra en suelos generalmente húmedos durante algún tiempo (Puigdefabregas, Thompson et al., 1980).

Gris y/o verde azulado

Este color es distintivo de su suelo, que tiende a estar perpetuamente saturado de agua y, en consecuencia, es deficiente en oxígeno (Puigdefabregas, Thompson et al. 1980).

PH

El pH es un indicador de la acidez o alcalinidad de la solución del suelo, pero no de la acidez general del suelo. Se cree que el nivel de pH es muy importante para el crecimiento de plantas y animales en el suelo. También afecta la velocidad y calidad de procesos como la mineralización y la hidratación, así como la disponibilidad de ciertos nutrientes. Los iones de hidrógeno en el suelo existen en solución y en complejos de intercambio, lo que resulta en la identificación de dos ácidos activos o verdaderos en soluciones ácidas. Reemplace o rellene el absorbente. Si se elimina H de la solución, las dos especies mantendrán un equilibrio dinámico y se liberará la mayor parte del H

adsorbido. El suelo es por tanto muy resistente a los cambios de pH y muy protegido (Trocme, 1979).

Contaminación del suelo

El ser humano tiene muchos usos de la superficie terrestre, que en la mayoría de los casos afectan al suelo, tales como: agricultura, ganadería, pastoreo, silvicultura, minería, materiales de construcción, apoyo a la construcción (líneas rojas, edificaciones, embalses, sedimentos o vertederos), residuos. procesamiento (agrícola o no agrícola), áreas recreativas (Juárez, Sánchez et al., 2006).

Actividades agrícolas

El deseo de aumentar los rendimientos agrícolas, especialmente cuando los fertilizantes ricos en nutrientes y los productos relacionados con la salud se utilizan insuficiente o insuficientemente, es uno de los factores que causa directamente la contaminación del suelo por el consumo directo. El reciclaje de los residuos generados (estiércol, lodos, residuos sólidos, lodos) del suelo es una práctica común que permite una correcta eliminación de los residuos al mismo tiempo que absorbe la materia orgánica y los nutrientes del suelo. Otra cosa a tener en cuenta es que no siempre hay suficiente agua para crear perturbaciones, lo que resulta en agua menos limpia para la agricultura (Juárez, Sánchez et al., 2006).

Para la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 1993) explica que la zona de la costa es la zona más afectada en temas de contaminación y que explica que los principales orígenes de esta contaminación son de procedencia minera con los relaves mineros, las aguas residuales sin tratamiento correspondiente, problema que tiene mucha incidencia en zona rurales y ciudades con prospección a los sectores urbanos marginales.

Explica Escobar (2002) que los cuerpos de agua lóticos como los ríos tiene la particularidad de concentrar contaminantes que se captan

a lo largo del camino de la cuenca en la costa marina o estuarios, donde existen poblaciones de especies animales y vegetales muy sensible a cambios y por ende muy sensible a la presencia de contaminantes tóxicos como el caso de los hidrocarburos, solventes, entre otros.

Otra terminología que se usa para a contaminación del agua es la contaminación hídrica, la cual Lozano – Rivas (2013) como la presencia de formas de energía, elementos, compuestos, que, al ser disueltos, dispersos o suspendidos en el agua alcanzan una concentración que limita cualquier uso que se puede dar al agua, como el consumo humano, uso agrícola, industrial, pecuario, estético, recreativo, para la conservación de ecosistemas, fauna y flora. La definición que proporciona el autor pone en evidencia y confirma que el uso del agua depende de las características físicas, químicas, microbiológicas y organolépticas que definen su calidad.

Contaminantes, procesos y fuentes que afectan la calidad del agua

Para Navas (2017) las principales fuentes para los mayores contaminantes del agua se clasifican en:

Puntuales. El autor explica que son las aguas negras municipales, las cuales son la suma de las aguas negras domésticas y los efluentes industriales de descarga que llegan al alcantarillado, todo esto se recolecta por tubos y llegan a los cuerpos de agua por un mismo punto, dando la opción de poder tratarse antes de disponerse en el medio ambiente.

No puntuales o difusas. Estos están compuestos por escurrimientos de actividades agrícolas y urbanas. Todos estos desechos líquidos se transportan por escorrentía superficial hasta llegar a un cuerpo de agua cercano, que puede ser un río, lago, laguna, manantial, entre otros. Estas descargas a diferencia de las puntuales no se pueden controlar porque de frente van al medio ambiente.

El autor también indica que hay actividades que pueden manejarse antes de llegar al cuerpo receptor como el caso de la contaminación agrícola, al cual se puede minimizar con cambios de uso de terreno y mejorando las prácticas agrícolas con nuevos métodos y tecnologías. Otro problema en general es que el agua pluvial urbana está compuesta por escurrimientos de las calles, estacionamientos, jardines, entre otros; estos además de contener el agua de las lluvias terminan con los contaminantes generados por la población como nitrógeno, aceites, hidrocarburos, materia orgánica, etc. Todo esto se puede corregir con diseños de tratamiento de vertidos complejos y mejorando los sistemas de alcantarillado, un ejemplo es que se eliminen los alcantarillados combinados, donde se mezclan aguas negras municipales y el agua generada por la lluvia (agua pluvial).

Escobar (2002) explica que los contaminantes más comunes son:

Contaminantes orgánicos. Se descomponen en el agua y disminuyen el oxígeno disuelto, induciendo la eutrofización. Sus fuentes son las actividades industriales, domésticas, asentamientos humanos.

Nutrientes. Incluyen principalmente fosfatos y nitratos, su incremento en el agua induce a una eutrofización. Se originan de desechos humanos y animales, detergentes y escorrentía de fertilizantes agrícolas. Sus fuentes son las actividades domésticas, industriales, escorrentía agrícola.

Metales pesados. Se originan principalmente alrededor de centros industriales y mineros. También pueden provenir de actividades militares o a través de lixiviados. Sus fuentes son las actividades industriales, mineras, asentamientos humanos, actividades militares.

Contaminación microbiológica. Desechos domésticos no tratados, criaderos de animales (E. coli, protozoos, amebas, etc.). Sus fuentes son las actividades municipales.

Compuestos tóxicos orgánicos. Químicos industriales, dioxinas, plásticos, pesticidas agrícolas, hidrocarburos de petróleo, hidrocarburos policíclicos generados de la combustión del petróleo. Compuestos orgánicos persistentes (POP) como químicos disruptores endocrinos, cianotoxinas, compuestos órgano estánicos de pinturas antinscrustantes. Sus fuentes son las actividades industriales, asentamientos humanos, escorrentía agrícola.

Químicos traza y compuestos farmacéuticos. Los desechos hospitalarios, son sustancias peligrosas no removidos necesariamente por los tratamientos convencionales y han sido reconocidos con disruptores endocrinos y carcinogénicos. Sus fuentes son las actividades de industria química y la farmacia.

Partículas suspendidas. Pueden ser orgánicas o inorgánicas y se originan principalmente de prácticas agrícolas y del cambio en el uso de la tierra, como deforestación, conversión de pendientes en pastizales originando erosión. Sus fuentes son las actividades de industria, asentamientos humanos, escorrentía agrícola y cambios en el uso de la tierra.

Desechos nucleares. Incluye una gama amplia de radio núcleos utilizados en fines pacíficos. Sus fuentes son las actividades en plantas nucleares, fallout radioactivo, ensayos nucleares, desechos hospitalarios, desechos industriales.

Salinización. Se produce por la presencia de sales en los suelos y drenajes inadecuados. También ocurre por afloramiento de agua proveniente de zonas altas, donde se riega (lavado de sales). Su fuente es la presencia de sales en los suelos, la que aflora por carecer de un buen drenaje, irrigación con agua salobre, agua de yacimientos secundarios de petróleo.

Acidificación. Está relacionada con un pH bajo del agua dado por la deposición sulfúrica producida por la actividad industrial y por las

emisiones urbanas. Sus fuentes son las actividades industriales y fuentes municipales.

Para Navas (2017) las principales clases de contaminantes se clasifican de la siguiente manera:

Los que demandan oxígeno. En general se trata de materia orgánica biodegradable y unos cuantos compuestos inorgánicos. En su mayoría se trata de aguas negras domésticas (desechos humanos y residuos alimenticios), desechos industriales (procesadoras de alimentos e industrias papeleras) y residuos naturales (materia vegetal muerta, restos y excrementos de animales).

Nutrientes. Dentro de los principales contaminantes que son nutrientes vegetales están el nitrógeno y el fósforo, los cuales proceden principalmente de detergentes, fertilizantes agrícolas y excrementos de animales. Si bien los nutrientes son un beneficio para el crecimiento foliar, todo depende de la dosis, que conduce a que el exceso ayuda en la proliferación de las algas y plantas que al morir se convierten en materia demandante de O₂.

Otro mal que causa es la turbidez en los cuerpos receptores que impide el ingreso de la luz solar, causando la muerte de varios organismos en el agua que necesitan la luz para sobrevivir (fotosíntesis), todo esto es conocido como eutrofización de aguas, que tiene como características la gran turbidez, el desarrollo de algas y la eliminación de bacterias benéficas. La eutrofización de las aguas convertirá el medio a un ambiente anaeróbico (sin presencia de oxígeno) produciéndose procesos de putrefacción y formación de gases con el gas sulfhídrico y metano.

Microorganismos patógenos. Los microorganismos que se pueden encontrar en el agua con los virus, como poliovirus o hepatovirus, bacterias, como E. coli y la Salmonella sp. y algunos protozoos como la Cryptosporidium. Estos llegan a los cuerpos de agua

por las excreciones animales y humanos que están infectados con algunos de estos microorganismos.

Sólidos suspendidos. Son partículas orgánicas e inorgánicas que el agua residual o de los alcantarillados llegan al cuerpo receptor. Las partículas inorgánicas provienen de las actividades industriales como la minería y la construcción. Estos sólidos cuando la velocidad del agua se reduce llega a asentarse en el fondo del cuerpo de agua destruyendo hábitats de especies bénticas; mientras que las partículas que no se sedimentan causan turbidez, inhibiendo la acción de la luz solar, matando algas, plantas y algunos animales acuáticos por la falta de alimento y por las dificultades generadas por la turbidez.

Sales. Todo cuerpo de agua contiene sal, hasta las que tienen la denominación de dulce, el problema es cuando las concentraciones de sal aumentan hasta el grado que amenaza la vida de especies de flora y fauna acuática. La causa principal de la salinización es el efecto en conjunto de un drenaje insuficiente y las altas tasas de evaporación, que lleva a que las sales se concentren en altas cantidades.

Metales tóxicos. Un metal muy común procedente del desecho urbano es el zinc (Zn) que viene del desgaste de los neumáticos en la ciudad.

Compuestos orgánicos tóxicos. Estos se encuentran en plaguicidas, herbicidas y otros productos fitosanitarios agrícolas.

Calor (Contaminación térmica). Un contaminante muy interesante que ofrece el autor es el vertimiento de aguas con temperaturas diferentes al cuerpo receptor. Un ejemplo es de las aguas usadas para la refrigeración en una central hidroeléctrica. El aumento de temperatura en el agua disminuye la cantidad de oxígeno disuelto, esto sumado a vertidos que demandan oxígeno, convierten a cualquier cuerpo de agua en inhabitable por la ausencia o nula cantidad de oxígeno en sus aguas.

Hidrocarburos. Explicada como una sustancia tóxica, como contaminante se presenta en los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) de los combustibles diesel, el petróleo crudo y sus derivados.

Pradana y García (2019) explica que el incremento a la exposición de los contaminantes es más probable en países en desarrollo, esto debido la mayor población y al uso intensivo de contaminantes como los fertilizantes y otros productos fitosanitarios. Yendo a los datos estadísticos y plazos explica que la eutrofización de las aguas superficiales y costeras aumentarán en todas partes para el año 2030, con un aumento al 20% para la mitad del siglo los casos de contaminación de lagos y lagunas por algas nocivas.

Calor (Contaminación térmica). Un contaminante muy interesante que ofrece el autor es el vertimiento de aguas con temperaturas diferentes al cuerpo receptor. Un ejemplo es de las aguas usadas para la refrigeración en una central hidroeléctrica. El aumento de temperatura en el agua disminuye la cantidad de oxígeno disuelto, esto sumado a vertidos que demandan oxígeno, convierten a cualquier cuerpo de agua en inhabitable por la ausencia o nula cantidad de oxígeno en sus aguas.

Contaminación por hidrocarburos.

Navas (2017) explica que una fuente de contaminación muy importante y controlable por el hombre son los vertidos de hidrocarburos, en especial en el mar. Los accidentes de petroleros solo han significado el 5% de la contaminación causada por este compuesto. La mayoría se debe a vertidos más usuales como la limpieza de los depósitos de los petroleros y barcos, la extracción de petróleo en yacimientos submarinos, los oleoductos y gasoductos en pésimo estado, emisiones atmosféricas de residuos de la combustión de hidrocarburos de automóviles y centrales eléctricas; y el aceite usado de motor que llega por la lluvia en las carreteras.

La Organización Marítima Internacional (2005) explica que cuando los hidrocarburos llegan a un cuerpo de agua acuático, este sufre muchos cambios físicos y químicos, algunas de estas características hacen posible que el hidrocarburo desaparezca de la superficie del agua, mientras que otras hacen que los hidrocarburos persistan. El comportamiento del hidrocarburo depende de las propiedades del hidrocarburo, la evaporación del hidrocarburo en la superficie del agua, la dispersión natural, la emulsión del agua en el hidrocarburo, y otros procesos como la radiación solar sobre la película de hidrocarburo, la biodegradación de algunos componentes del compuesto, los procesos de disolución y oxidación.

Para Prieto y Martínez (1999) la contaminación de las aguas, como los sistemas de almacenamiento, las fuentes subterráneas y superficiales, son una situación que se da con relativa frecuencia. Este tipo de contaminación altera de manera significativa las características organolépticas del agua, lo cual termina con el rechazo al consumo de este líquido, además que significa un peligro en su ingesta. Pero no solo el ser humano puede salir afectado de este tipo de contaminación, los ecosistemas se ven muy impactados por estas situaciones por la interacción de estos contaminantes sobre los componentes del ambiente. Este autor detalla que la contaminación se puede dar de dos maneras:

Contaminación puntual: Estas situaciones ocurren de manera fortuita, donde en general la presencia de hidrocarburos es nula.

Contaminación habitual. El autor caracteriza esta contaminación como aquella que es generada por la actividad humana que realiza en varias actividades que desarrolla.

Otro dato que proporciona el autor, es que la contaminación puede clasificarse en simple y múltiple, estos se diferencian por la cantidad de hidrocarburos que se echan a los cuerpos de agua, mientras que en la simple se puede abarcar hasta 2 contaminantes derivados del petróleo,

la contaminación múltiple significa la contaminación por más de tres compuestos derivados del petróleo.

Velásquez (2016) coincide con el anterior autor, que dice que la contaminación con estos contaminantes es de origen antrópico. Este autor explica la situación en Colombia, que explica que como impactos de estas situaciones se ha presentado contaminación de fuentes hídricas, el deterioro de los ecosistemas y la reducción de especies de flora y fauna, acompañado de cambios significativos del paisaje.

Zamora et al. (2012) explica en su estudio que los derrames de petróleo son las principales causas de la contaminación de aguas y suelos, estos producen impactos significativos en los ecosistemas alterando su composición y las reacciones que en este se dan. Estas situaciones originan efectos directos en especies de fauna y flora, debido a que el petróleo, que es un hidrocarburo, contiene componentes tóxicos que atentan contra la vida de las plantas, animales y seres humanos, en especial para los microorganismos, que son parte esencial de los ecosistemas por ser autores de los ciclos biogeoquímicos.

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

Suelo

Es la capa superficial que se extiende desde la superficie hasta la profundidad del suelo, donde las raíces de las plantas obtienen alimento y agua para su crecimiento. Los minerales liberados del lecho rocoso se mezclan con materia orgánica (cuerpos vegetales y animales), agua, oxígeno y organismos vivos para formar suelo (Trocme, S., 1979).

Fertilidad del suelo

Es la capacidad del suelo para sustentar la vida vegetal y depende de la disponibilidad de nutrientes, la capacidad de retención de agua, el espacio físico para el crecimiento de raíces y el movimiento de gases, y la presencia de microorganismos activos durante el ciclo del suelo. La introducción de fármacos que controlen los problemas de salud en lugar de interferir en el proceso (Céspedes, 2000).

Nitrógeno (N)

El nitrógeno del suelo es importante para el crecimiento de las plantas y es importante para la producción de proteínas, ácidos nucleicos y clorofila. Existe en formas orgánicas e inorgánicas y participa en procesos como la mineralización, la nitrificación y la fijación biológica. Las plantas absorben nitrógeno principalmente en forma de nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+). La gestión adecuada del nitrógeno es importante para la productividad agrícola y la sostenibilidad ambiental, ya que el exceso de nitrógeno puede causar contaminación y la deficiencia de nitrógeno puede limitar el crecimiento de las plantas.

Fósforo (P)

El fósforo del suelo es esencial para el crecimiento de las plantas y desempeña un papel en procesos importantes como la fotosíntesis, la transferencia de energía y la formación de ADN y ARN. Aunque es abundante en la corteza terrestre, su uso por parte de las plantas es

limitado debido a su baja solubilidad y tendencia a fijarse en los minerales del suelo. El fósforo existe en formas orgánicas e inorgánicas y su ciclo incluye la mineralización de la materia orgánica y la absorción por las raíces. La gestión adecuada del fósforo mediante el uso de fertilizantes y el manejo del suelo es fundamental para mantener la fertilidad y la productividad agrícola.

Potasio (K)

El potasio es un elemento esencial en el suelo y es importante para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Participa en procesos importantes como la fotosíntesis, la síntesis de proteínas y la gestión del agua en las plantas. Aunque hay mucho potasio en el suelo, sólo una pequeña porción está disponible para las plantas, lo que se ve afectado por factores como el suelo fino, la arcilla y el contenido orgánico. El manejo adecuado del potasio del suelo mediante prácticas de fertilización y permacultura es importante para mantener la salud y la productividad de los cultivos.

Bases intercambiables (Ca, Mg, K, Na)

Las bases intercambiables en el suelo como calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K) y sodio (Na) son iones importantes que están unidos a complejos de intercambio en las partículas del suelo y son intercambiables con ellos. Raíces de las plantas. Estos cationes juegan un papel importante en la estructura del suelo, la disponibilidad de nutrientes y el control del pH. La cantidad y proporción de bases intercambiables variarán según la composición mineral y la biología del suelo. El manejo adecuado de estos cationes a través de medidas como una fertilización y un desarrollo equilibrados es importante para mantener la fertilidad del suelo y optimizar los rendimientos.

Extracción por componentes vegetales

La fitoextracción es la absorción de contaminantes del suelo por las raíces de las plantas y su transporte a las partes superficiales o cualquier parte de los colectores para eliminarlos y contribuir a la depuración del suelo a largo plazo. Para una extracción eficaz de las

plantas, los metales no solo deben absorberse rápidamente, sino también transportarse desde las raíces hasta las partes aéreas. Aunque los metales pueden estar presentes en grandes cantidades en el suelo, su absorción por las plantas depende de su fracción biodisponible. El cultivo promueve el equilibrio ecológico (Céspedes. 2000).

Cadmio en el suelo

El cadmio es un metal pesado que se ha relacionado con muchos problemas de salud graves. Los altos niveles de minerales en los suelos agrícolas causan serios problemas ambientales porque son móviles y fácilmente absorbidos por las plantas (Herrera Marcano, 2002).

Arsénico en el suelo

El arsénico es un metal pesado que causa contaminación, no se biodegrada y persiste en el medio ambiente por mucho tiempo. La alta biodisponibilidad en el suelo amenaza a todos los organismos vivos. Puede afectar a casi todos los elementos y sistemas a lo largo del recurso (Herrera Marcano, 2002).

Muestreo

Los procedimientos de muestreo permiten caracterizar las muestras que han sido objeto de investigación. Mediante este proceso se determina que la muestra sea una porción representativa que tendrá características similares o idénticas a la población de estudio, en cuyo caso se selecciona la muestra para todos los análisis de laboratorio necesarios (MINAM, 2014).

Velásquez (2016) explica que los problemas de contaminación, ya sea de agua o en suelos y aire, son de origen en base a las acciones antrópicas. El impacto ambiental generado por esta contaminación abarca la contaminación de las principales fuentes de agua como los ríos y lagunas, el deterioro paisajístico de la zona y la nula calidad de las condiciones idóneas de desarrollo en un ecosistema.

Límites máximos permisibles (LPM)

Medir la concentración o nivel de una sustancia, sustancia o agente físico, químico o biológico en un derrame o corriente de emisión gaseosa, cuyo exceso es nocivo para el medio ambiente, la salud humana, las personas y el medio ambiente (MINAM, 2014).

Estándar de calidad ambiental (ECA)

Valores ambientales resultantes de la determinación de determinadas concentraciones de sustancias, sustancias o agentes biológicos, químicos y físicos que están presentes en el suelo como receptores y que no suponen un riesgo significativo para la salud humana o el medio ambiente. Esto puede referirse a su nivel mínimo y máximo o rango de concentración (MINAM, 2014).

Según la normativa vigente, los valores para suelos agrícolas son:

- **Cadmio (Cd):** 1 mg/kg
- **Arsénico (As):** 50 mg/kg

Estos valores se encuentran establecidos en el Decreto Supremo N.º 002-2013-MINAM, que aprueba los ECA para Suelo en el Perú.

2.4. HIPOTESIS

H1: Existe relación entre la abundancia de malezas y la concentración de Cd y As presente en las raíces de estas.

H0: No existe relación entre la abundancia de malezas y la concentración de Cd y As presente en las raíces de estas.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Especies de malezas

2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Capacidad de fitoextracción

2.5.3. VARIABLE DESCRIPTIVA

Parámetros

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Identificación de malezas fitoextractoras de cadmio y arsénico en terrenos agrícolas con cultivo de frijol chaucha (*Phaseolus vulgaris* L.) en Huácar – Huánuco 2024.

Variable independiente	Indicadores	Valor Final	Tipo de variable
Especies de malezas	Abundancia de malezas	Número y especies de malezas identificadas	Nominal politómica
Variable dependiente	Indicadores	Valor Final	Tipo de variable
Capacidad de fitoextracción	Concentración de Cadmio Concentración de Arsénico	ppm	Numérica continua
Variable descriptiva	Indicadores	Valor Final	Tipo de variable
Parámetros	Parámetros físicos	Arenoso/Limo/Franco/Arcilloso	Nominal politómica
	• Textura	Miliequivalentes por cada 100	Numérica continua
	• Capacidad de Intercambio Cationico (CIC)	(meq/100g)	
	• Porosidad	(g/cm ³)	Numérica continua
	Parámetros químicos		
	• Ph	Cantidad de pH	Numérica continua
	• Materia orgánica	(%)	Numérica continua
	• Nitrógeno total	(mg/kg)	Numérica continua
	• Fosforo y Potasio (PK) disponible	(ppm)	Numérica continua
	• Bases intercambiables (Ca, Mg, K, Na)	Cmol(+)/kg	Numérica continua

CAPÍTULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. ENFOQUE

La investigación aplicó un enfoque mixto el que consiste en la integración sistemática de los métodos cuantitativo y cualitativo en un solo estudio con el fin de obtener una fotografía más completa del fenómeno. Pueden ser conjuntados de tal manera que las aproximaciones cuantitativa y cualitativa conserven sus estructuras y procedimientos originales forma pura de los métodos mixtos. Alternativamente, estos métodos pueden ser adaptados, alterados o sintetizados para efectuar la investigación y lidiar con los costos del estudio forma modificada de los métodos mixtos; así empleo el enfoque no experimental, (Hernández Sampieri, 2016), señala que se realiza sin la manipulación deliberada de variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos.

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

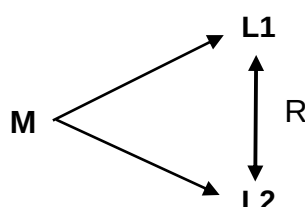
El alcance de la investigación fue correlacional porque su finalidad es establecer la relación o asociación (no causal) existente entre dos o más variables. La investigación primero medirá las variables (especies de malezas y capacidad de fitoextracción) y luego, mediante la prueba de hipótesis, se estimará la correlación.

3.1.3 DISEÑO

De acuerdo con su diseño plantado, la investigación se enmarcó en un estudio de campo no experimental debido a que observo los hechos estudiados tal como se manifiestan en su ambiente natural y, en este sentido, no se manipulo de manera intencional las variables; también se consideró una tesis transversal porque el estudio se realizará en un momento determinado de tiempo, es decir, no se considerará la evolución del fenómeno, sino que se realizará una sola medición de la información, sin pretensión de observar su evolución o

cambio con el paso del tiempo; es decir por la naturaleza del problema la investigación corresponde al nivel relacional, porque el propósito será encontrar los correlatos existentes cuantitativamente entre las variables de estudio que son las especies de malezas y la capacidad de fitoextracción (cadmio y arsénico).

Notación funcional:



Donde:

M: muestra

L1: Información de la variable Especies de malezas.

L2: Información de la variable Capacidad de fitoextracción.

R: Grado de relación existente (Sánchez, 1998).

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población del presente estudio estima en un área de 2.500 m² de suelos agrícolas contaminados con metales pesados (arsénico y cadmio), estos suelos están ubicados en el distrito de Huácar, provincia de Ambo, ciudad de Huánuco – Perú.

Las coordenadas geográficas se presentan a continuación:

Distrito de Huácar	
Latitud sur	10°09'28" S
Longitud Oeste	76°14'07" W

El estudio será desarrollado en los meses de julio, agosto, septiembre y octubre del año 2024.

La muestra de estudio estará compuesta por 20 metros cuadrados de suelo contaminado con metales pesados (arsénicos y cadmio) de la población de estudio. Estos terrenos se dividirán en dos transectos de 10 m² cada uno, subdividido en 5 parcelas de 2x1m por cada transecto.

3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Variable	Indicador	Técnicas	Instrumentos
Remoción de Cd y As	Cadmio	Observación	Espectrofotómetro de Absorción Atómica (EAA)
	Arsénico		
Parámetros	Parámetros físicos	Observación	
	• Textura		• Tamiz
	• Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)		• Kit de medición de CIC
	• Porosidad		• Picnómetro
	Parámetros químicos		
	• Ph		• Pehachimetro
	• Materia orgánica		• Mufla / Espectrofotómetro UV-Vis
	• Nitrógeno total		• Destilador de Kjeldahl
	• Fosforo y Potasio (NPK) disponible		• Fotómetro de llama
	• Bases intercambiables (Ca,Mg,K,Na)		• EAA

Se aplicará el método de análisis: se obtuvo una muestra de suelo del distrito de Huácar, para analizarse en el contenido de cadmio y arsénico y determinar el nivel de contaminación y sus características fisicoquímicas de acuerdo con la Resolución Ministerial N° 085-2014-MINAM sobre lineamientos para muestreo de suelos y D.S. No. 002-2014-MINAM.

En este suelo se encuentra cultivo del frijol chaucha (*Phaseolus vulgaris* L.) que es una leguminosa fitoextractora, y al final del periodo

experimental se analizó Cd y arsénico en el área radicular de las malezas, así como en el suelo.

Muestreo de comprobación de la Remediación (MC)

El propósito del muestreo es demostrar que cualquier acción de remediación tomada en el suelo contaminado se llevó a cabo de manera estadísticamente verificable a una concentración menor o igual al ECA, el valor determinado en el suelo, o cumplió con los criterios estándar de salud y estudios de evaluación de riesgos ambientales (ERSA) niveles de tratamiento específicos determinados por estudios y de acuerdo con las pautas pertinentes. Los resultados se incluirán en el informe de finalización de la acción correctiva a las autoridades correspondientes para que todas las muestras obtenidas puedan revisarse en consecuencia.

Procedimiento experimental

- Ubicado el área de estudio de 20 m² se tendrá que delimitar con cordones, donde se dividirá en dos transectos de 10 m² cada uno y estos subdivididas en parcelas de 2x1 metros, teniendo un total de 10 parcelas para una mejor identificación de las malezas.
- Se obtendrá una muestra de suelo obtenida por la homogenización de 5 puntos del área de estudio, donde 1 kg se llevará al laboratorio de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) para su respectivo análisis de laboratorio de caracterización físicoquímica del suelo, considerando propiedades como textura, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y metales pesados (cadmio y arsénico).
- Como parte del experimento, se seleccionó *Phaseolus vulgaris* (frijol chaucha), reconocido por su capacidad fitoextractora, para ser sembrado de manera uniforme en los diez cuadrantes de la parcela. Durante el periodo de crecimiento del frijol, se permitió el desarrollo natural de malezas en los alrededores, a fin de analizar su interacción con el suelo contaminado.

- Se identificarán los tipos de maleza y se llevará una de cada especie al laboratorio de la UNAS para hacer un análisis de metales pesados (cadmio y arsénico) en el área radicular de cada planta.
- Analizando los resultados del laboratorio se podrá identificar las especies de plantas conocidas como malezas que son fitoextractoras de metales pesados, estos resultados podrán ser utilizados por los agricultores para que ayude con la remediación de suelos de manera más económica y amigable.
- Finalizado el ensayo, se realizó un muestreo compuesto y homogéneo del suelo para evaluar las concentraciones finales de cadmio y arsénico. Este análisis permitió determinar el efecto del frijol chaucha y las malezas en la reducción de contaminantes presentes en el suelo.

Materiales para guardar y transportar muestras

- Las características del recipiente deben ser compatibles con el material del suelo que se está estudiando y los contaminantes que se están muestreando, ser resistente a la rotura y evitar reacciones químicas con la muestra y/o pérdidas por evaporación.
- Siempre que sea posible, debe evitarse el uso de productos químicos para conservar muestras de suelo, a menos que se especifique lo contrario en el método. Para protegerlos, es práctico almacenarlos en un lugar fresco (4 a 6 °C) apto para la contaminación orgánica.
- El volumen del recipiente debe ser aproximadamente el mismo que el volumen de la muestra para minimizar el espacio de cabeza.
- Para COV o volátiles, no se recomienda tomar muestras de suelo durante el transporte, ya que esto conducirá a pérdidas y subestimaciones, que es lo más importante y útil cuando se intenta evaluar el riesgo del suelo.

Etiquetado

- La etiqueta debe colocarse en un lugar destacado y no debe exceder el tamaño del envase y debidamente adherida para evitar pérdidas.
- Las muestras deben etiquetarse y registrarse inmediatamente después del muestreo.

Ficha de muestreo

Documentación que resuma la información recolectada en el sitio, incluido el método de muestreo, el estado del sitio de muestreo y una descripción de las muestras recolectadas.

Condiciones de seguridad de las muestras

- Considere el pretratamiento de la muestra in situ realizando algunas manipulaciones necesarias, como filtración, adición de reactivos, conservantes, etc.
- Las muestras deben manipularse con cuidado para evitar daños, por lo que deben envasarse de forma que el recipiente en el que se almacenan permanezca completamente intacto durante el transporte.

3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para el procesamiento de datos en este estudio se considerará el software estadístico IBMSPSS 25 para visualizar el análisis de datos por medidas de tendencia central y varianza.

Para el procesamiento de los datos, el estudio contempla el uso de los siguientes softwares:

Programa estadístico IBM SPSS Statistics 25 para la contratación de hipótesis, para la presentación descriptiva de las medidas de dispersión, las pruebas de asimetría y forma (Prueba de normalidad) y las medidas de tendencia central.

Programa Microsoft Office PowerPoint 2016 para la elaboración de diagramas y gráficos descriptivos.

Programa Microsoft Office Excel 2016 para presentar gráficos y tablas con la información obtenida durante la investigación y el trabajo de campo.

Programa Microsoft Office Word 2016 para la redacción parcial y final del proyecto de investigación.

Programa ARCGIS 10.4.1. para la elaboración de los mapas de ubicación y para calcular la posición geográfica de la zona de estudio.

Para el análisis de la información se hará uso de la hermenéutica.

El análisis de datos considerará técnicas hermenéuticas para ayudarnos a interpretar textos sagrados, filosóficos o literarios para encontrar el verdadero significado de las palabras, ya sea escritas o habladas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

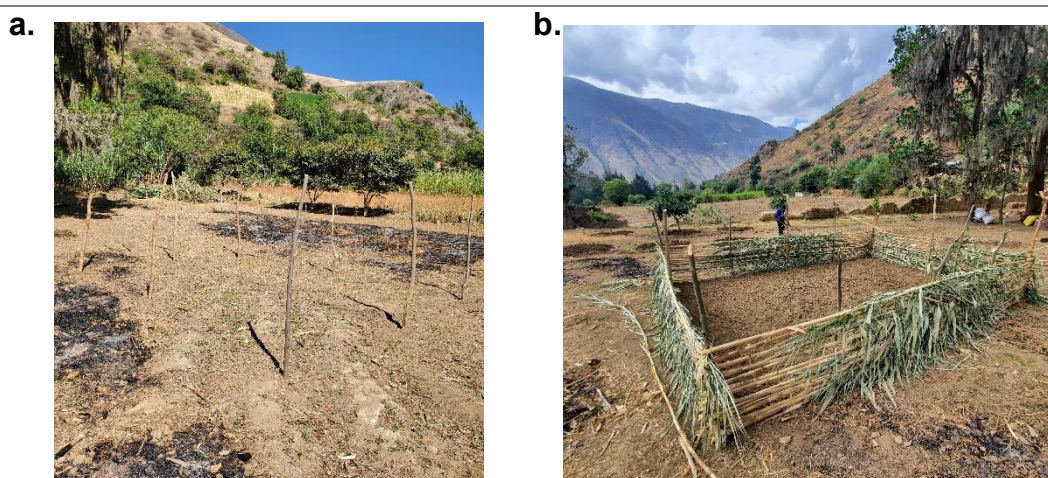
En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante la investigación, centrados en la identificación de las especies de malezas presentes en la región de estudio y en la evaluación de su capacidad de acumulación de cadmio y arsénico en las raíces. El análisis se llevó a cabo sobre 14 especies de malezas (Tabla 2) que convivieron con el cultivo de frijol chaucha durante el experimento y mostraron una variabilidad en su capacidad de acumulación de cadmio y arsénico en las raíces.

4.1 DELIMITACIÓN DE LA PARCELA EXPERIMENTAL

El experimento se llevó a cabo en una parcela agrícola de 20 m² (4 x 5 m), seleccionada por sus características representativas del suelo de la región. La parcela fue dividida en 10 cuadrantes de 2 x 1 m, siguiendo un diseño de muestreo sistemático para asegurar una distribución uniforme de las observaciones. Este diseño permitió obtener una mayor representatividad de las características físicas, químicas y biológicas del suelo.

Figura 1

Delimitación de la parcela experimental



Nota. En la figura “a” se procede a delimitar con horcones y en la figura “b” se visualiza el cercado, donde se utilizó carrizo.

4.2 PRETEST DEL SUELO Y CARACTERIZACIÓN INICIAL

Se realizó un pretest de suelo, homogeneizando muestras recolectadas de los 10 cuadrantes de la parcela experimental. La muestra homogénea fue enviada al Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología de la Universidad Nacional Agraria de la Selva para determinar las concentraciones iniciales de arsénico (As) y cadmio (Cd), junto con parámetros fisicoquímicos como pH, textura y capacidad de intercambio catiónico.

Los resultados obtenidos (ver Tabla 1) sirvieron como base en línea para evaluar los cambios en la calidad del suelo tras el experimento.

Figura 2

Muestra de suelo (pretest)



Nota. En la figura “a” se visualiza el uso de la barreta para sacar muestras de suelo de 5 calicatas. La figura “b” es la muestra de suelo homogenizada.

Tabla 1*Caracterización inicial del suelo*

Parámetro analizado	Resultado	Unidad	Interpretación
pH	6.46	-	Suelo levemente ácido, adecuado para la mayoría de cultivos.
Cadmio (Cd)	1.958	ppm	Supera el ECA para suelos agrícolas en Perú (1 mg/kg), indicando contaminación por este metal.
Arsénico (As)	51.635	ppm	Exceder ligeramente el ECA para suelos agrícolas (50 mg/kg), lo que sugiere una contaminación moderada.
Materia Orgánica (MO)	1.34	%	Bajo contenido de materia orgánica, requiere manejo para mejorar la fertilidad del suelo.
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	9.789	cmol(+)/kg	CIC baja, implica una capacidad limitada para retener nutrientes esenciales.

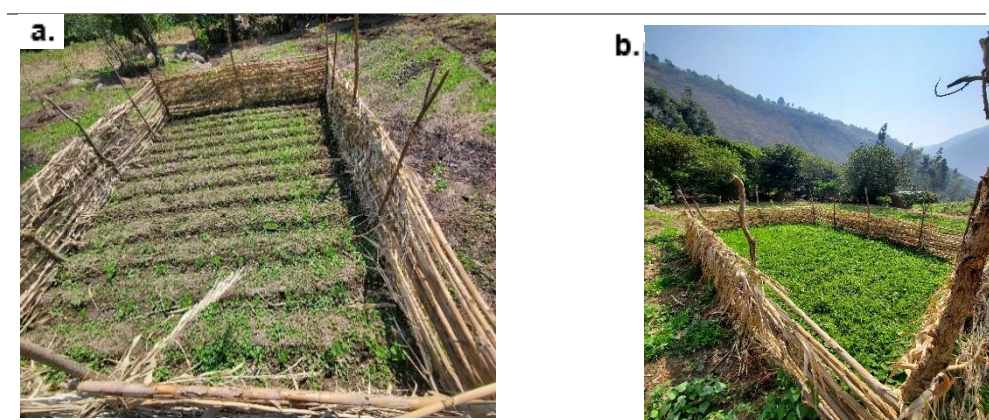
Nota. Estos resultados evidencian la necesidad de implementar estrategias correctivas, como el uso de cultivos fitoextractores, enmiendas orgánicas, y la aplicación de buenas prácticas agrícolas, con el fin de reducir la contaminación por metales pesados, mejorar la fertilidad del suelo y garantizar la sostenibilidad del ecosistema. Ver anexo 5

4.3 FITORREMEDIACIÓN: CULTIVO DE PHASEOLUS VULGARIS (FRIJOL CHAUCHA)

Se utilizó *Phaseolus vulgaris*, conocido como frijol chaucha, por su capacidad reconocida como fitoextractor. Este fue sembrado en cada cuadrante de la parcela experimental bajo un diseño homogéneo. Durante el experimento, se registró el crecimiento de especies vegetales espontáneas (malezas) alrededor de los frijoles, las cuales también fueron consideradas para el análisis de acumulación de metales pesados.

Figura 3

Cultivo de Phaseolus vulgaris



Nota. En la figura “a” se sembró el frijol chaucha. En la figura “b” se observa el crecimiento de vegetales espontáneos (malezas).

4.4 IDENTIFICACIÓN DE MALEZAS

En total, se identifican 13 especies de malezas, las cuales crecieron alrededor del cultivo de frijol chaucha. Junto con *Phaseolus vulgaris*, se analizaron 14 especies en total. Las especies identificadas y su clasificación taxonómica se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2

Especies de malezas identificadas en el experimento y taxonomía

1. <i>Amaranthus spinosus</i> L. • Nombre común: Atacú del Perú • Reino: Plantae • División: Magnoliophyta • Clase: Magnoliopsida • Subclase: Caryophyllidae • Orden: Caryophyllales • Familia: Amaranthaceae • Subfamilia: Amaranthoideae • Género: Amaranthus • Especie: Amaranthus spinosus L.	
2. <i>Sonchus oleraceus</i> L. • Nombre común: Cerraja • Reino: Plantae • División: Magnoliophyta • Clase: Magnoliopsida • Subclase: Asteridae • Orden: Asterales • Familia: Asteraceae • Subfamilia: Cichorioideae • Tribu: Cichorieae • Subtribu: Hyoseridinae • Género: Sonchus • Especie: Sonchus oleraceus L.	
3. <i>Plantago lanceolata</i> L. • Nombre común: Llantén menor • Reino: Plantae • Subreino: Tracheobionta • División: Fanerógama • Magnoliophyta • Clase: Magnoliopsida • Subclase: Asteridae • Orden: Lamiales • Familia: Plantaginaceae • Género: Plantago • Especie: Plantago lanceolata L.	

4. *Bidens Tripartita*

- Nombre común: -
- Reino: Plantae
- Orden: Asterales
- Familia: Asteraceae
- Subfamilia: Asteroideae
- Tribu: Coreopsideae
- Género: Bidens
- Especie: B. tripartita L.



5. *Crotalaria longirostrata*

- Nombre común: Chipilín
- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Subclase: Rosidae
- Orden: Fabales
- Familia: Fabaceae
- Subfamilia: Faboideae
- Tribu: Crotalarieae
- Género: Crotalaria
- Especie: Crotalaria longirostrata



6. *Bidensa pilosa L.*

- Nombre común: Romerillo
- Reino: Plantae
- Orden: Asterales
- Familia: Asteraceae
- Subfamilia: Asteroideae
- Tribu: Coreopsideae
- Género: Bidens
- Especie: B. pilosa L.



7. *Phaseolus vulgaris*.

- Nombre común: Frijol Chaucha
- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Subclase: Rosidae
- Orden: Fabales
- Familia: Fabaceae
- Subfamilia: Faboideae
- Tribu: Phaseoleae
- Subtribu: Phaseolinae
- Género: Phaseolus
- Sección: Phaseolus
- Especie: Phaseolus vulgaris L.



8. *Bromus catharticus*

- Nombre común: Cebadilla
- Reino: Plantae
- (sin rango): Commelinids
- Orden: Poales
- Familia: Poaceae
- Subfamilia: Pooideae
- Tribu: Bromeae
- Género: Bromus L.
- Especie: B. catharticus



9. *Chenopodium album* L.

- Nombre común: Cenizo
- Reino: Plantae
- Subreino: Tracheobionta
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Subclase: Caryophyllidae
- Orden: Caryophyllales
- Familia: Chenopodiaceae
- Subfamilia: Chenopodioideae
- Género: Chenopodium
- Especie: Ch. álbum L.



10. *Paspalum setaceum*

- Reino: Plantae
- Subreino: Traqueobionta
- Superdivisión: Spermatophyta
- División: Magnoliophyta
- Clase: Liliopsida
- Subclase: Commelinidae
- Orden: Cyperales
- Género: Paspalum
- Especie: P. setaceum.



11. *Dysphania ambrosioides*

- Nombre común: Epazote
- Reino: Plantae
- Subreino: Tracheobionta
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Subclase: Tracheophyta
- Orden: Caryophyllales
- Familia: Amaranthaceae
- Subfamilia: Chenopodioideae
- Género: Dysphania
- Especie: Dysphania ambrosioides (L.)



12. *Helminthotheca echioides*

- Nombre común: Raspasaya
- Reino: Plantae
- Subreino: Tracheobionta
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Asterales
- Familia: Asteraceae
- Subfamilia: Cichorioideae
- Tribu: Cichorieae
- Subtribu: Hypochaeridinae
- Género: Helminthotheca
- Especie: Helminthotheca echioides (L.)



13. *Ipomoea purpurea*

- Nombre común: Campanilla moralda
- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Solanales
- Familia: Convolvulaceae
- Género: *Ipomoea*
- Especie: *Ipomoea purpurea* (L.)



14. *Sonchus asper* L.

- Nombre común: Cardo
- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Asterales
- Familia: Asteraceae
- Subfamilia: Cichorioideae
- Tribu: Cichorieae
- Subtribu: Hyoseridinae
- Género: *Sonchus*
- Especie: *Sonchus asper* (L.)



4.5 ANÁLISIS DE ACUMULACIÓN DE METALES PESADOS

Se recolectaron muestras de raíz de cada una de las 14 especies identificadas. Estas muestras fueron enviadas al laboratorio para determinar la concentración de arsénico y cadmio acumulado en las raíces. Los resultados obtenidos evidencian diferencias significativas entre las especies.

Figura 4

Análisis de raíz de mis malezas en el laboratorio



Nota. En la figura “a” y “b” se puede observar la limpieza de la planta para quitar exceso de tierra y estudiar la raíz. En la figura “c” y “d” son raíces parcialmente limpiadas

Tabla 3

Resultado de análisis de raíz de cada especie (Cd y As)

Especie	Código de laboratorio	Cd (mg/kg)	As (mg/kg)	Interpretación
<i>Amaranthus spinosus L.</i>	E24-234-1	0,5467	12.2201	-
<i>Sonchus oleraceus</i>	E24-234-2	0,5253	12.9656	-
<i>Plantago lanceolata L.</i>	E24-234-3	0,3814	11.1312	-
<i>Bidens tripartita</i>	E24-234-4	0,6565	12.5133	-
<i>Crotalaria longirostrata</i>	E24-234-5	0,7308	12.6255	-
<i>Bidens pilosa L.</i>	E24-234-6	0,6958	12.5456	-
<i>Phaselous vulgaris</i>	E24-234-7	1.2008	10.9852	Especie con moderada fitoextracción de Cd, adecuada para remediación en suelos.
<i>Bromus catharticus</i>	E24-234-8	0,219	10.9899	-
<i>Chenopodium álbum L.</i>	E24-234-9	0,1350	10.3225	-
<i>Paspalum setaceum</i>	E24-234-10	0,6645	12.5456	-
<i>Dysphania ambrosioides</i>	E24-234-11	0,5406	10.3223	-
<i>Helminthoteca echioides</i>	E24-234-12	0,5349	10.1319	-
<i>Ipomoea purpurea</i>	E24-234-13	1.5349	15.6523	Especie destacada en fitoextracción de Cd, potencial para remediación en suelos contaminados.
<i>Sonchus asper L.</i>	E24-234-14	2.5349	15.9552	Mayor acumulación de Cd y As, excelente opción para fitoextracción en suelos altamente contaminados.

Nota. De acuerdo con los análisis de las raíces, las especies más destacadas para la fitoextracción de metales pesados fueron:

1. **Sonchus asper L.:** Registró los valores más altos de cadmio (2.5349 mg/kg) y arsénico (15.9552 mg/kg), confirmando su alta capacidad fitoextractora y utilidad para la remediación de suelos contaminados por estos metales.
2. **Ipomoea purpurea:** Demostró un destacado potencial para la extracción de cadmio (1.5349 mg/kg) y arsénico (15.6523 mg/kg), siendo una opción viable en suelos con contaminación moderada a alta.
3. **Phaseolus vulgaris:** Aunque sus valores no son los más altos, presenta una moderada acumulación de cadmio (1.2008 mg/kg), pero baja acumulación de arsénico (10.9852 mg/kg), siendo útil para remediación en condiciones de baja contaminación

4.6 Muestreo de suelo post-tratamiento

Al finalizar el experimento, se recolectó una nueva muestra homogénea de suelo para evaluar los cambios en las concentraciones de arsénico y cadmio tras la fitorremediación. Los resultados (Tabla 4.3) muestran una reducción en los niveles de ambos contaminantes, lo que evidencia la efectividad del enfoque aplicado.

Figura 5

Muestra de suelo (postest)



Nota. En la figura “a” se visualiza el uso de la barreta para sacar muestras de suelo de 5 calicatas. La figura “b” es la muestra de suelo homogenizada

Tabla 4*Caracterización final de suelo*

Parámetro analizado	Resultado	Unidad	Interpretación
pH	6.46	-	Suelo levemente ácido, adecuado para la mayoría de cultivos.
Cadmio (Cd)	0.9190	pp m	Se encuentra por debajo del límite del ECA para suelos agrícolas en Perú (1 mg/kg), indicando ausencia de contaminación por este metal.
Arsénico (As)	51.530	pp m	Aunque ha disminuido, sigue superando el ECA para suelos agrícolas (50 mg/kg), lo que indica una contaminación moderada.
Materia Orgánica (MO)	1.34	%	Bajo contenido de materia orgánica, requiere manejo para mejorar la fertilidad del suelo.
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	9.789	cm ol(+) /kg	Capacidad de intercambio catiónico moderada, indica retención media de nutrientes.

Tabla 5

Comparación de análisis de suelos

Parámetro	Valor inicial (ppm)	Valor final (ppm)	Variación	Interpretación
Cadmio (Cd)	1.958	0,919	-1.039	Se encuentra por debajo del ECA, sin contaminación.
Arsénico (As)	51.635	51.53	-0,105	Aunque reducido, sigue superando el ECA, indicando contaminación moderada.

Nota. La tabla 5 refleja los resultados del análisis de cadmio y arsénico antes y después del proceso de remediación en terrenos agrícolas con cultivo de frijol chaucha (*Phaseolus vulgaris* L.). El cadmio mostró una disminución significativa, de 1.958 ppm a 0.919 ppm, lo que sugiere la capacidad de las malezas fitoextractoras identificadas para reducir de manera efectiva este metal, situándolo por debajo del límite del ECA para suelos agrícolas (1 mg/kg). Sin embargo, el arsénico presentó un nivel de reducción, de 51.635 ppm a 51.530 ppm, manteniéndose por encima del ECA (50 mg/kg). Este análisis respalda que las malezas estudiadas poseen potencial para la remediación de suelos contaminados en la zona de Huácar, Huánuco, aunque los resultados son variables según el tipo de metal

Tabla 6

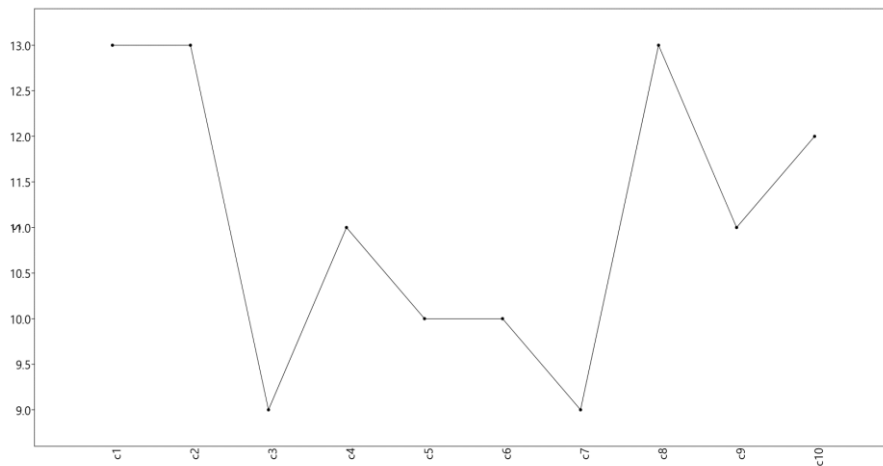
Biodiversidad en el terreno de cultivo de frejol chaucha

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Taxones	13	13	9	11	10	10	9	13	11	12
Individuos	43	43	33	39	29	27	21	40	39	33
Dominancia	0.1041	0.1107	0.142	0.135	0.1355	0.09972	0.1952	0.1256	0.1147	0.125
Simpson	0.8959	0.8893	0.858	0.865	0.8645	0.9003	0.8048	0.8744	0.8853	0.875
Shannon_H	2.4253	2.3893	2.073	2.182	2.15	2.317	2.0048	2.3054	2.2733	2.319
Margalef	3.19	3.19	2.288	2.73	2.673	2.731	2.628	3.253	2.73	3.146

Nota. P= parcela. Taxones o especies: Se observan variaciones en la cantidad de taxones e individuos, siendo P1 y P2 las parcelas con mayor número de individuos (43). La dominancia es baja en todas las parcelas, con valores máximos en P3 (0.142) y P5 (0.1355), indicando una distribución relativamente equitativa de especies. El Índices de Simpson y Shannon Ambos reflejan una diversidad moderada, con el índice de Shannon alcanzando su máximo en P10 (3.319), sugiriendo alta diversidad en esa parcela. Margalef: Este índice también sugiere una diversidad sostenible, con el mayor valor en P1 y P2 (3.19), confirmando la buena salud del ecosistema en esas parcelas

Figura 6

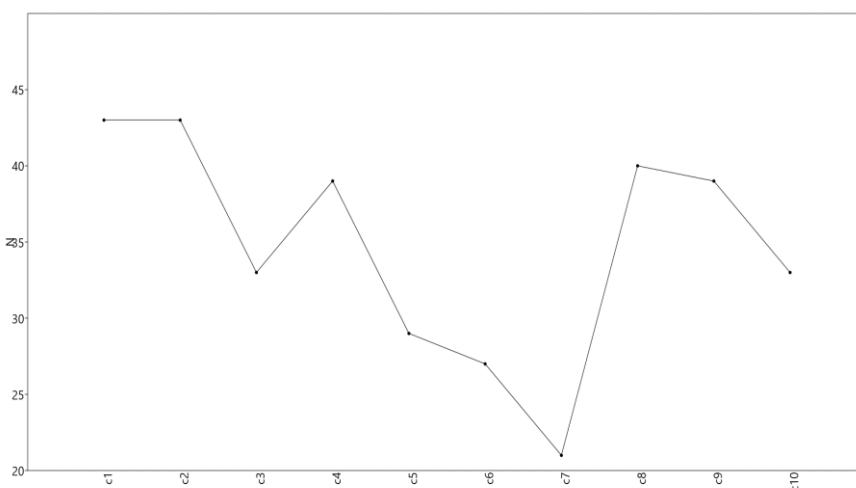
Taxones de especie



Nota. En la figura 6 se observan picos en c1, c2 y c8 (C=parcela), donde la cantidad de taxones es relativamente alta. En contraste, en c3 y c7, hay un descenso notable.

Figura 7

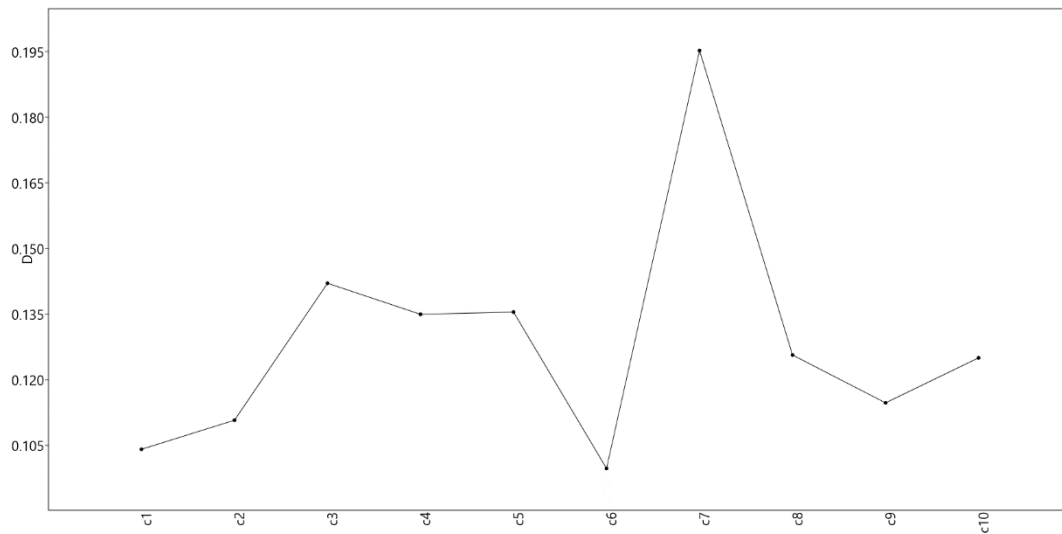
Número de individuos según campo o parcela



Nota. En la figura 7 se observa que el número de individuos varía significativamente entre las parcelas, con picos notables y descensos pronunciados. La parcela c1 y c2 presenta el número más alto de individuos, mientras que c7 tiene uno de los puntos más bajos.

Figura 8

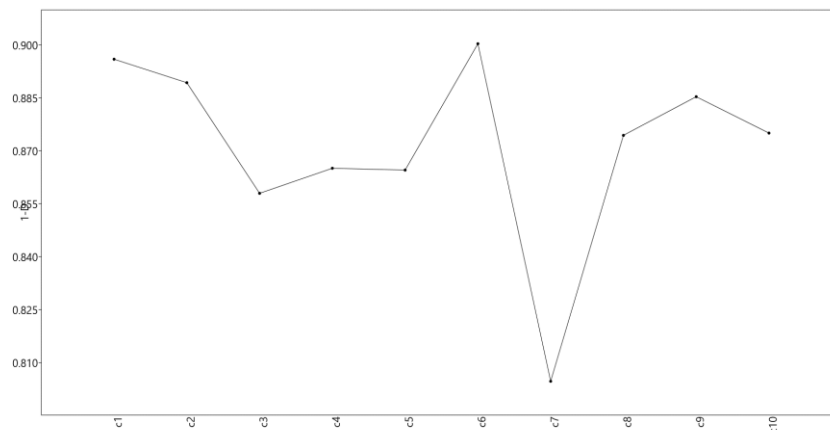
Dominancia según campo o parcela



Nota. En la figura 8 se observa la nula existencia de una especie dominante, sin embargo, la parcela c7 presenta mayor dominancia, alcanzando su punto máximo en comparación con las demás parcelas. La dominancia muestra una tendencia a ser más baja en c1, c2 y c6, pero aumenta en la c4 y c5.

Figura 9

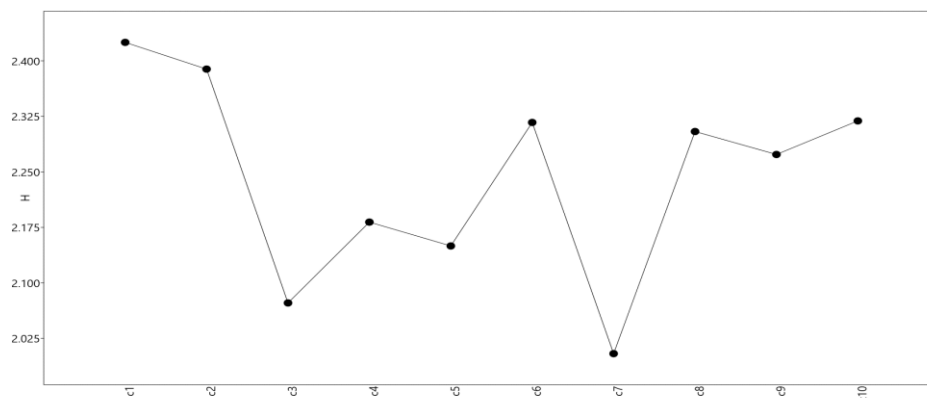
Índice de Simpson (1-D) según campo o parcela



Nota. En la figura 9 se observa el índice de Simpson oscila entre aproximadamente 0.810 y 0.900. Un valor más alto sugiere mayor diversidad, mientras que valores más bajos indican una mayor dominancia de pocas especies. Se observa un pico bajo en c7, donde el índice se aproxima a 0, indicando una baja diversidad en esa parcela. A diferencia del c1, c2 y c6 muestra el valor más alto que aproxima a 1, sugiriendo una mayor diversidad.

Figura 10

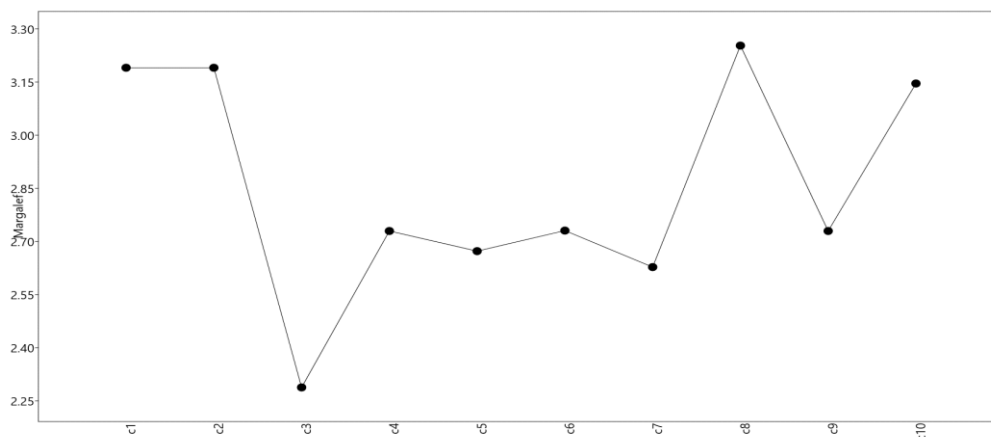
Índice de Shannon según campo o parcela



Nota. En la figura 10 el índice de Shannon oscila entre aproximadamente 2.0 y 2.4, lo que indica niveles de diversidad moderados a altos en las parcelas estudiadas. Las parcelas c1, c2 y c6 muestran los más altos índices de biodiversidad, mientras el c3 y c7 los más bajos. Esto puede indicar una mayor dominancia de unas pocas especies y, por lo tanto, menor diversidad.

Figura 11

Índice de Margalef según campo o parcela



Nota. La figura 11 se visualiza el índice de Margalef que oscila entre aproximadamente 2.25 y 3.30. Esto sugiere una variabilidad en la biodiversidad y la riqueza de especies entre las distintas parcelas. Puntos altos (c1, c2, c8, c10) indican áreas con alta riqueza específica. Este índice representa una medida de la riqueza de especies en una comunidad ecológica. Nos permitió para evaluar la diversidad biológica basándose en el número de especies presentes en relación con el tamaño de la muestra o la población.

4.7 Contraste de hipótesis

H1: Existe relación entre la Abundancia de malezas y la concentración de cd y As presente en las raíces de estas.

H0: No existe relación entre la Abundancia de malezas y la concentración de cd y As presente en las raíces de estas.

Tabla 7

Prueba de normalidad

	Abundancia	Cd	As
N	14	14	14
Shapiro-Wilk W	0.712	0.775	0.8677
p(normal)	0.0004937	0.00249	0.03897
Anderson-Darling A	1.806	1.268	0.7106
p(normal)	6.65E-05	0.001694	0.04898

Nota. Las 2 pruebas utilizadas para evaluar la normalidad de los datos muestran valores menores a 0.05 por lo cual se asume que los datos no tienen normalidad.

Tabla 8

Prueba de Correlación de Spearman

	Abundancia	Cd	As
Abundancia		0.38326	0.15325
Cd	0.38326		0.59846
As	0.15325	0.59846	

Nota. En la tabla 8 se observa la relación más fuerte se observa entre Cd y As, mientras que la relación entre Abundancia y As es la más débil y no es significativa.

Figura 12

Correlación de Spearman



Nota. Abundancia y Cd: Hay una correlación moderada (0.38326), lo que indica que existe una relación positiva entre estas dos variables, aunque no es muy fuerte y se marca con x debido a que no es significativa.

Abundancia y As: La correlación es débil (0.15325), sugiriendo que la relación entre Abundancia y As es escasa no significativa.

Cd y As: Muestra una correlación moderada (0.59846), indicando una relación significativa $p < 0.05$ entre estas variables en comparación con Abundancia interpretándose que cuanto mayor es la concentración de Cd en las raíces de las especies mayor también será la concentración de As en estas.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

1. Acumulación de metales pesados en raíces de las especies analizadas

El análisis realizado evidenció que las 14 especies estudiadas presentan diferentes niveles de acumulación de cadmio y arsénico en sus raíces, confirmando una variabilidad significativa en su capacidad fitoextractora. Especies como *Sonchus asper* L. e *Ipomoea purpurea* destacaron por su alta eficiencia acumulativa, con concentraciones de 2.5349 mg/kg y 1.5349 mg/kg de cadmio, respectivamente. Estas especies también mostraron una notable capacidad para acumular arsénico, registrando valores de 15.9552 mg/kg y 15.6523 mg/kg. Por otro lado, especies como *Chenopodium album* L. y *Bidens pilosa* L. presentaron concentraciones más bajas, lo que podría deberse a factores como una menor capacidad de transporte de metales hacia las raíces o diferencias en la interacción planta-suelo.

Asimismo, los hallazgos de Reyes y Villanueva (2021), quienes determinaron que *Amaranthus* sp. era una maleza eficaz para la fitoextracción de Cd y As en suelos contaminados por actividad minera, refuerzan la idea de que especies silvestres pueden representar una alternativa viable y accesible para la remediación ambiental.

La alta acumulación en especies como *Sonchus asper* L. sugiere que poseen mecanismos fisiológicos especializados para tolerar y almacenar metales pesados en sus tejidos radiculares, un rasgo que las posiciona como candidatas idóneas para estrategias de fitorremediación. Sin embargo, estas concentraciones también pueden implicar riesgos ecológicos, como la transferencia de metales a otros niveles de la cadena trófica si las plantas no son adecuadamente gestionadas tras su uso.

En comparación con los antecedentes revisados, se observa que Khoramnejadian y Saeb (2015) reportaron que *Amaranthus retroflexus* presentó una alta capacidad para remover metales pesados como Cd, Cr, Cu y Ni en suelos contaminados. Aunque la especie evaluada en su estudio no coincide con las identificadas en esta investigación, el mecanismo de acumulación de Cd en las raíces sugiere similitudes con los patrones observados en *Sonchus asper* L. e *Ipomoea purpurea*. Esta coincidencia podría explicarse por la capacidad de ciertas malezas para desarrollar sistemas radiculares eficientes en la absorción de metales pesados, una característica compartida por diversas especies hiperacumuladoras.

El análisis de correlación de Pearson evidenció una relación positiva significativa entre la concentración inicial de Cd y As en el suelo y su acumulación en las raíces de ciertas malezas, infiriendo la eficiencia fitoextractora de *Sonchus asper* e *Ipomoea purpurea*. Además, los valores del análisis de Shannon y Simpson respaldan la idea de que la comunidad vegetal mantiene un equilibrio ecológico que favorece la fitorremediación.

2. Cambios en la calidad del suelo antes y después del experimento

El análisis inicial del suelo indicó concentraciones de cadmio (1.958 ppm) y arsénico (51.635 ppm) por encima de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos para suelos agrícolas en Perú (1 ppm y 50 ppm, respectivamente). Al finalizar el experimento, los resultados revelaron una reducción significativa en cadmio, alcanzando un valor de 0.919 ppm, lo que representa una disminución del 53.08%. En contraste, la reducción en arsénico fue mínima, pasando de 51.635 ppm a 51.530 ppm, lo que indica que este metal presenta mayor dificultad para ser extraído mediante técnicas de fitorremediación.

La capacidad limitada para reducir arsénico puede estar relacionada con su forma química predominante en el suelo, que podría ser menos biodisponible para las especies analizadas. Esto resalta la

necesidad de combinar la fitorremediación con otras estrategias, como el uso de agentes quelantes, para mejorar la biodisponibilidad y facilitar su extracción.

Además, los parámetros fisicoquímicos del suelo, como pH, materia orgánica y textura, no mostraron cambios significativos entre las muestras iniciales y finales, lo que indica que el proceso de fitorremediación no afectó negativamente la estructura ni la calidad general del suelo. Esto es crucial para garantizar que los terrenos puedan seguir siendo utilizados para actividades agrícolas después del tratamiento.

3. Relevancia en el contexto local y potencial de replicación

Estos hallazgos son particularmente relevantes para la región de Huánuco, donde la contaminación por metales pesados representa un problema ambiental y de salud pública significativo. El uso de especies como *Sonchus asper* L. e *Ipomoea purpurea* podría ser implementado en programas piloto de remediación en terrenos agrícolas contaminados. Además, los resultados obtenidos son extrapolables a otras áreas con condiciones similares, destacando la versatilidad de la fitorremediación como una alternativa ecológica y de bajo costo.

CONCLUSIONES

1. Variabilidad en la capacidad fitoextractora:

Las 14 especies estudiadas presentaron diferencias significativas en su capacidad para acumular cadmio y arsénico en las raíces. *Sonchus asper* L. e *Ipomoea purpurea* destacaron como las especies más eficientes, acumulando concentraciones de 2.5349 mg/kg y 1.5349 mg/kg de cadmio, respectivamente, y valores superiores a 15 mg/kg de arsénico. La evaluación de los índices de diversidad ecológica confirmó que la comunidad de malezas presenta una distribución equitativa de especies sin predominancia de una sola especie.

2. Eficiencia diferencial entre metales:

La reducción de cadmio en el suelo fue significativa, alcanzando un 53.08% tras el experimento, mientras que la disminución de arsénico fue mínima. Esto evidencia que la biodisponibilidad y las formas químicas de los metales afectan su extracción, siendo necesario complementar la fitorremediación con otras técnicas para mejorar la eficacia en arsénico.

3. Impacto en la calidad del suelo:

Los parámetros fisicoquímicos del suelo, como pH y materia orgánica, se mantuvieron estables tras el experimento, lo que indica que la implementación de fitorremediación no altera negativamente la estructura ni la calidad del suelo, asegurando su sostenibilidad para futuros usos agrícolas.

4. Potencial de las especies estudiadas:

Las especies analizadas, especialmente *Sonchus asper* L. e *Ipomoea purpurea*, son candidatas prometedoras para proyectos de remediación ambiental en Huánuco y otras regiones afectadas por contaminación con metales pesados. Su uso puede representar una solución económica y ecológica para mitigar problemas de contaminación en suelos agrícolas.

RECOMENDACIONES

Implementar protocolos específicos para la gestión post-remediación de las plantas fitoextractoras, como su eliminación segura, para evitar la transferencia de metales pesados a otras cadenas tróficas o su reutilización indebida.

Complementar la fitorremediación con otras técnicas:

Incorporar el uso de agentes quelantes EDTA, que mejora la absorción de metales pesados, o alternativas más biodegradables como ácido cítrico y ácido oxálico, que aumentan la biodisponibilidad del arsénico sin efectos adversos en el suelo. Asimismo, el uso de bioestimulantes como ácidos húmicos y fúlvicos puede mejorar la retención de metales y la salud del suelo. Además, la aplicación de microorganismos rizosféricos (*Pseudomonas putida*, *Bacillus subtilis*) y hongos micorrícicos arbusculares (HMA) puede optimizar la fitoextracción al favorecer la acumulación de metales y la resistencia de las plantas al estrés ambiental.

Capacitación a los agricultores locales: Promover talleres y programas de capacitación para enseñar a las comunidades agrícolas sobre la implementación y manejo de fitorremediación, destacando sus beneficios y limitaciones.

Realizar estudios a largo plazo: Evaluar el impacto a largo plazo de la fitorremediación en los suelos tratados, incluyendo su influencia en los cultivos posteriores, la productividad y la calidad del suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aghelan, N., Sobhanardakani, S., Cheraghi, M., & otros. (2021). Evaluación de algunos agentes quelantes sobre la eficiencia fitorremediadora de *Amaranthus caudatus* L. y *Tagetes patula* L. en suelos contaminados con plomo. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 19(503–514). <https://doi.org/10.1007/s40201-021-00623-y>
- Aguilar Flores, H. B. (2018, December 5). Remoción de cd, cr zn y pb mediante sistema batch con presencia cajanus cajan (l.) huth (frijol palo) a nivel de laboratorio. Universidad nacional agraria de la selva. Retrieved September 29, 2022, from http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1628/TS_HBAF_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Astier, M., Maass, M., y Etchevers, J. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Revista Científica Agrociencia*, vol. 36 (5), 618 <https://www.redalyc.org/pdf/302/30236511.pdf>
- Barchuk, A. (2020) *Manual de buenas prácticas para la conservación de bosques nativos*. Editorial Brujas, <https://www.digitaliapublishing.com/a/66372>
- Berrio, M y Figueroa, J. (2021) *Fitorremediación Inducida por Microorganismos en Suelos Contaminados con Iones de Metales Pesados: Revisión sistemática*. [Tesis pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/77813>
- Bendezu Montalvan, L. M., & Chavez Gamarra, C. M. (2023). Efecto de enmiendas orgánicas en la fitorremediación de cadmio por coquito (*Cyperus rotundus* L.) en un suelo contaminado. Sincos, Jauja, 2021. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13302/1/IV_FIN_107_TE_Bendezu_Chavez_2023.pdf

- Flacso, G. (2020). *Restauración forestal en los Andes ecuatorianos*. Digitalia, <https://www.digitaliapublishing.com/a/67531>
- Guzmán Morales, A. R. a., Oriol Vázquez, P., Cruz La Paz, O., Valdés Carmenate, R., & Valdés Hernández, P. A. (2021, May 31). Fitotecnología para la recuperación de agroecosistemas contaminados con metales pesados por desechos industriales. SciELO Cuba. Retrieved September 28, 2022, from <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v48n3/0253-5785-cag-48-03-43.pdf>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2016). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill.
- Horra, J., Serrano, F., y Carlevaris, J. (2008). *Estudio de los suelos del campo de Calatrava (Ciudad Real) y sus condiciones de fertilidad*. CSIC. <https://n9.cl/eqzgy>
- http://www.frtr.gov/matrix2/top_page.html
- INEI. (2018). Un análisis de la eficiencia de la gestión municipal de Residuos sólidos en el Perú y sus determinantes.
- Juárez, M., Sánchez, J. y Sánchez, A. (2006). *Química del suelo y medio ambiente*. Publicaciones de la Universidad de Alicante. <https://n9.cl/z2oeb>
- Khoramnejadian, S., & Saeb, K. (2015). Accumulation and translocation of heavy metals by *Amaranthus retroflexus*. Journal of Earth, Environment and Health Sciences, 1(2), 58-58. <https://go.gale.com/ps/logout.do?userGroupName=anon~7487046d&page=true&prodId=HRCA>
- Mago Córdova, A. J., & Muro del Valle, S. D. (2022). Malezas con potencial para la fitorremediación de suelo contaminado con plomo del botadero de residuos sólidos municipales de Reque, Lambayeque. file:///C:/Users/luz13/Downloads/Mago_C%C3%B3rdova_Alejandro_J_hordan%20y%20Muro_del%20Valle_Sergio_Daniel.pdf

- MINAM. (2014). Guía para Muestreo de Suelos. Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) <https://acortar.link/74fXcA>
- Sánchez, A. (1998) Métodos de investigación, Caracas Venezuela. Ed Paraninfo SA, pag 462
- Orbegoso, F y Sánchez, M (2020) Técnicas de fitorremediación en el tratamiento de suelos contaminados por metales pesados. [Tesis pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional UCV. <https://n9.cl/coj92>
- Paredes, E (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 pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio institucional UDH. <https://n9.cl/g89ko>
- Pérez et al. (2018). View of Anthracene effect on stimulation of growth of maize and kidney bean. Terra Latinoamericana. Retrieved September 28, 2022, from <https://terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/1208/1434>
- Puigdefabregas, J., Thompson, L., y Troeh, F. (1980). *Los suelos y su fertilidad*. Editorial Reverte. <https://n9.cl/1qm3u>.
- Reyes Perez, L. K., & Villanueva Carranza, C. N. (2021). Diseño de una propuesta ambiental para la fitoextracción de metales pesados utilizando el género amaranthus sp. para la restauración de suelos contaminados por la Minera Quiruvilca SA–La Libertad 2020. <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/28881/Tesis.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Rios Lozano, A., & Sánchez Najar, B. (2021, December 5). *Fitorremediación de cromo y cadmio en suelos del botadero Yacucatina, con siembra de frijol castilla, Tarapoto, 2021.* Repositorio UCV. Retrieved September 28, 2022, from

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/89237/Ri os_LA-S%c3%a1nchez_NBCF-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sandoval, S. (2017). Saneamiento de suelos contaminado con diésel utilizando *zea mays* como fitorremediador. Editorial grin verlag, https://books.google.com.pe/books?id=DhfyswEACAAJ&dq=fitorremediacion+de+suelos&hl=es&sa=X&redir_esc=y

Santiago, Y (2019) *Influencia de los cultivos de gramíneas (zea mays) y leguminosas (phaseolus vulgaris) en la calidad del suelo de San Juan de Miraflores, distrito de San francisco de Cayrán – Huánuco, 2019*. [Tesis pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio institucional UDH. <https://n9.cl/nx360>

Supo, J y Zacarías, H. (2022) Metodología de la investigación científica, tercera edición, Bioestadístico EEDU.

Trocme, S. (1979) Suelo y fertilización en fruticultura. Editorial, Omega. <http://biblioteca.esPOCH.edu.ec/cgi-bin/koha/opsearch.pl?q=an:7982>

Van Deuren, J., T. Lloyd, S. Chetry, R. Liou y J. Peck. (2002). Guía de referencia y matriz de detección de tecnologías de remediación. Editorial Tech nology Innovation.

Volke, T y Velasco, J. (2002). *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. Amazon. Com. <https://acortar.link/5fO6jh>

W. Sangabriel et al. (2019). Tolerancia y capacidad de fitorremediación de combustóleo en el suelo por seis especies vegetales Wendy Sangabriel 1, Ronald FE. SciELO México. Retrieved September 28, 2022, from <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v22n2/0188-4999-rica-22-02-63.pdf>

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

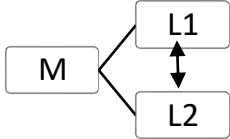
Morales Alvarado, L. A. (2025). *Identificación de malezas fitoextractoras de cadmio y arsénico en terrenos agrícolas con cultivo de frijol chaucha (Phaseolus vulgaris L.) en Huácar, Huánuco – 2025* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

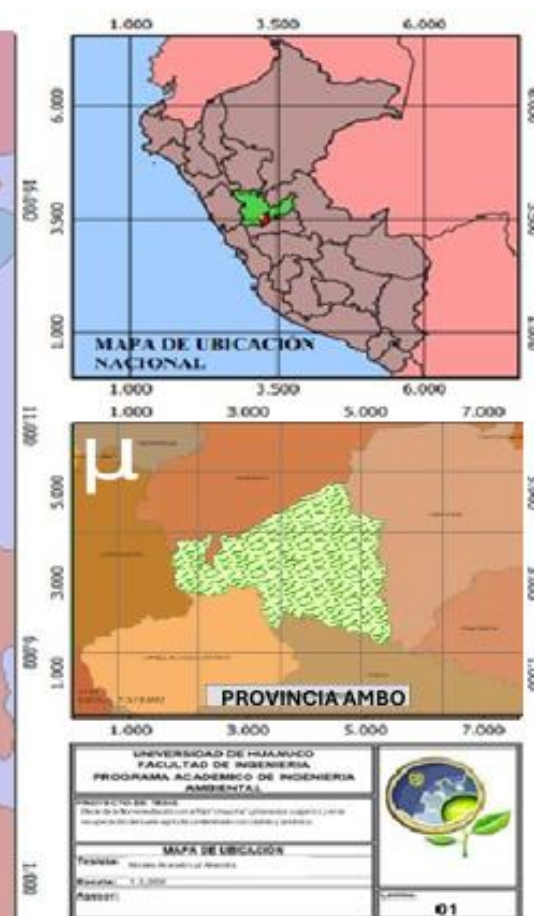
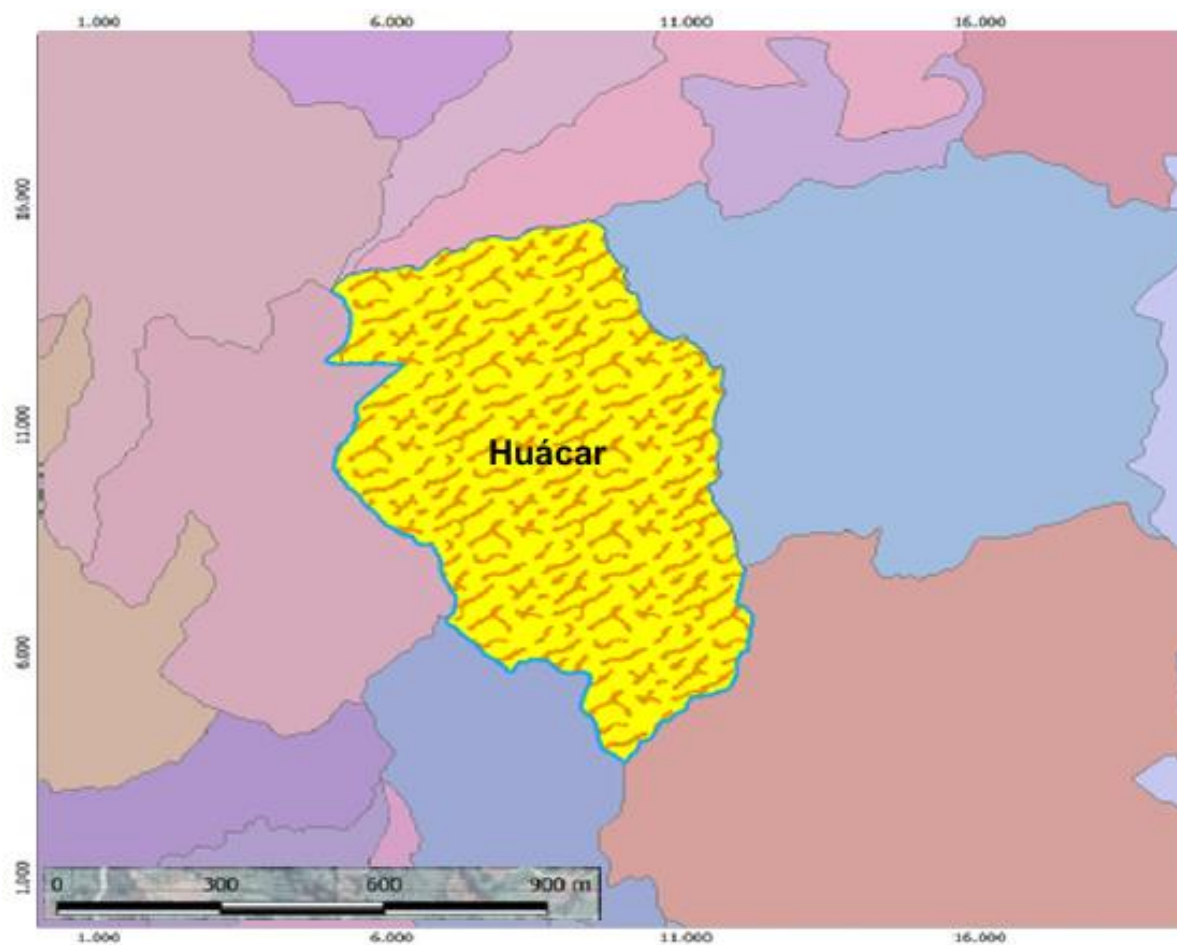
MATRIZ DE CONSISTENCIA

IDENTIFICACIÓN DE MALEZAS FITOEXTRACTORAS DE CADMIO Y ARSÉNICO EN TERRENOS AGRÍCOLAS CON CULTIVO DE FRIJOL CHAUCHA (PHASEOLUS VULGARIS L.) EN HUÁCAR – HUÁNUCO 2024.

Problema General	Objetivo General	Hipótesis	Variables e indicadores	Metodología
¿Cuáles son las malezas fitoextractoras de cadmio y arsénico presentes en terrenos agrícolas con cultivo de frijol “chaucha” (Phaseolus vulgaris L.)?	Identificar el tipo de maleza fitoextractora que crecen en terrenos agrícolas de cultivo del frijol “chaucha” (Phaseolus vulgaris L.).		V. Independiente Especies de malezas V. dependiente Capacidad de fitoextracción (concentración de cadmio y arsénico) V. descriptiva Parámetros físicos • Textura • Capacidad Intercambio Catiónico (CIC) • Porosidad Parámetros químicos • Ph • Materia orgánica • Nitrógeno total • Fosforo y Potasio (PK) disponible • Bases intercambiables (Ca,Mg,K,Na)	Tipo: Mixto, transversal, no experimental, relacional Enfoque: cuantitativo y cualitativo Nivel: Correlacional Diseño: No experimental
Problemas Específicos	Objetivos Específicos			
¿Cuál es la concentración de cadmio en la raíz de las malezas fitoextractoras presentes en terrenos agrícolas con cultivo del frijol “chaucha” (Phaseolus vulgaris L.)? ¿Cuál es la concentración de arsénico en la raíz de las malezas fitoextractoras presentes en terrenos agrícolas con cultivo del frijol “chaucha” (Phaseolus vulgaris L.)? ¿Cuál es la biodiversidad de malezas fitoextractoras presente en terreno agrícola de cultivo de frijol “chaucha” (Phaseolus vulgaris L.)? ¿Cuál es la relación en la abundancia de malezas con la concentración de Cd y As presente en las raíces de estas?	Determinar la concentración de cadmio en la raíz de las malezas fitoextractoras presentes en terrenos agrícolas con cultivo del frijol “chaucha” (Phaseolus vulgaris L.) Determinar la concentración de arsénico en la raíz de las malezas fitoextractoras presentes en terrenos agrícolas con cultivo del frijol “chaucha” (Phaseolus vulgaris L.) Determinar la biodiversidad de malezas fitoextractoras presente en el terreno de cultivo del frijol “chaucha” (Phaseolus vulgaris L.). Relacionar la abundancia de malezas con la concentración de Cd y As presente en las raíces de estas.	H1: Existe relación entre la Abundancia de malezas y la concentración de cd y As presente en las raíces de estas. H0: No existe relación entre la Abundancia de malezas y la concentración de cd y As presente en las raíces de estas.	de 	Población: 2.500 m ² de terreno. Muestra: 20 m ² de suelo contaminado

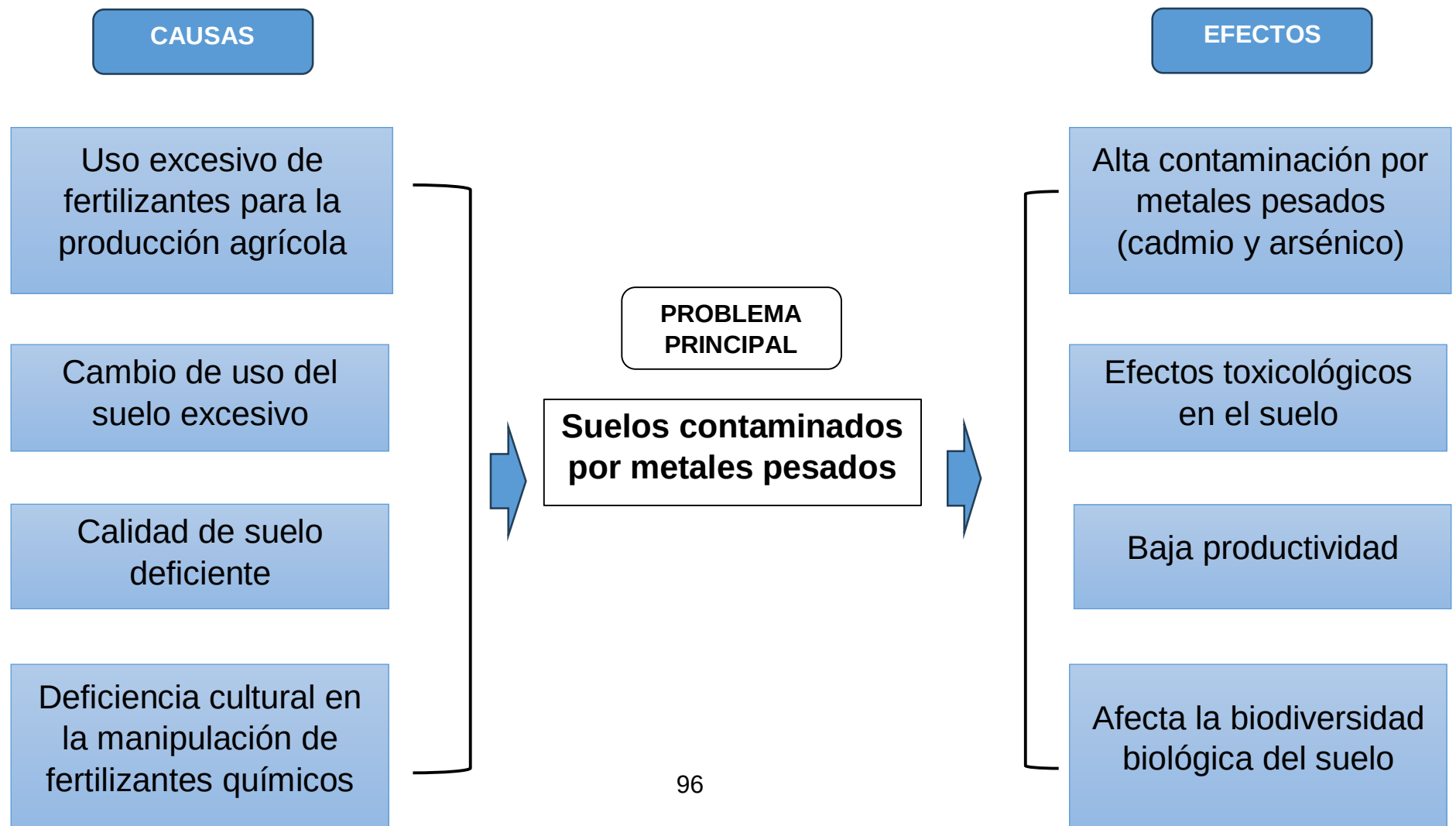
ANEXO 2

PLANO DE UBICACIÓN



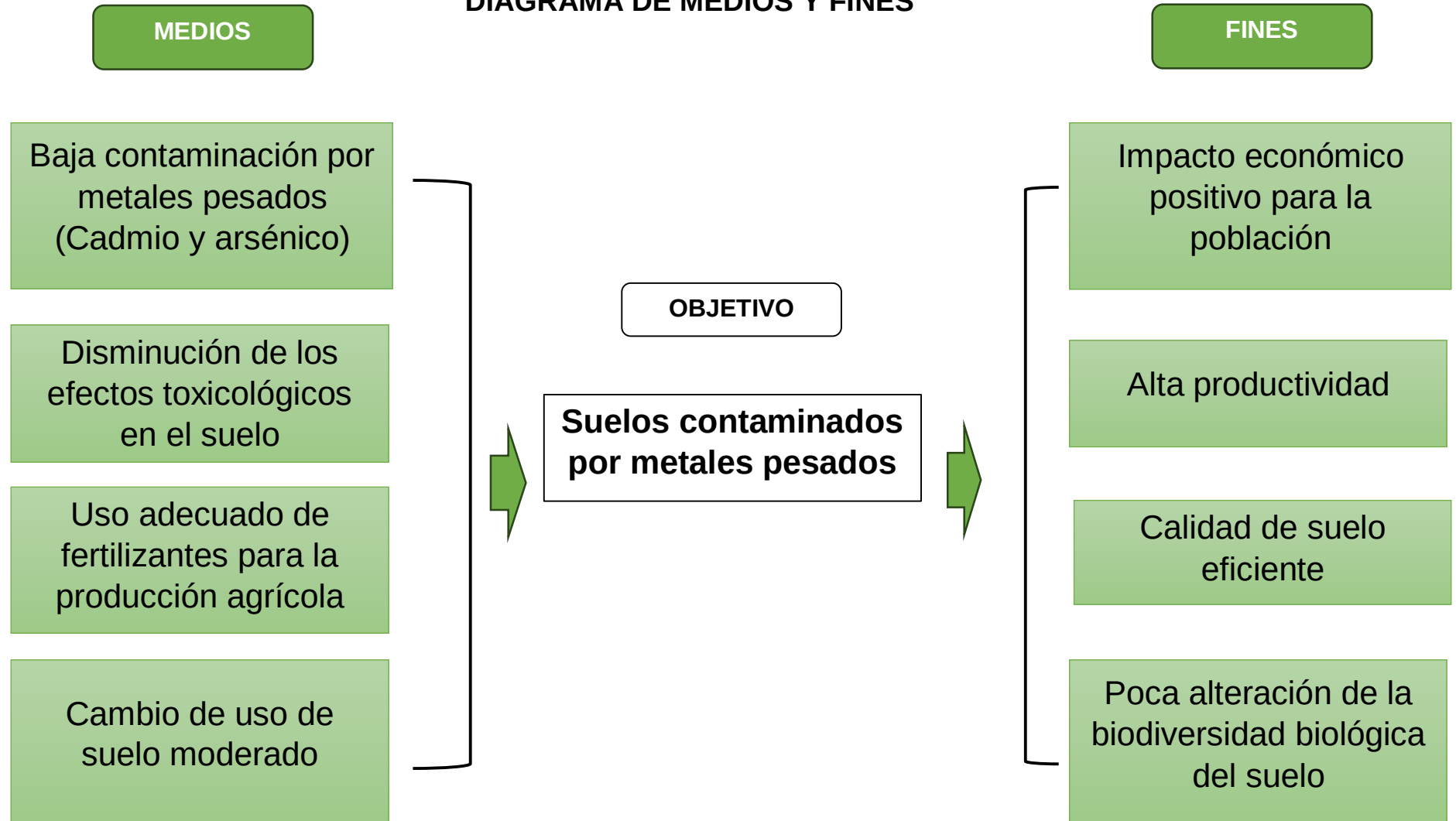
ANEXO 3

DIAGRAMA DE CAUSAS Y EFECTOS



ANEXO 4

DIAGRAMA DE MEDIOS Y FINES



ANEXO 5
OBSERVACIÓN DEL ING. SIMEÓN CALIXTO (JURADO)



ANEXO 6

OBSERVACIÓN DEL MG. FRANK CÁMARA (ASESOR)



ANEXO 7

RESULTADO DE ANÁLISIS DE LABORATORIOS DE PRE TEST DE MI MUESTRA DE SUELO



ANALISIS DE SUELOS



SOLICITANTE:	LUZ MORALES ALVARADO	FECHA DE REPORTE:	14/11/2024
PROCEDENCIA:	SANTA ROSA - HUACAR - HUANUCO	FECHA DE RECEPCIÓN:	5/11/2024
REFERENCIA:	CULTIVO FREJOL CHAUCHA	FECHA DE INICIO DE ENSAYO:	5/11/2024

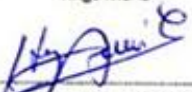
RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

N°	DATOS		ANALISIS FISICO					ANALISIS QUIMICO						ANALISIS QUÍMICO												
			Arena	Arcilla	Limo	Clase Textural	CE	Ph	Materia Orgánica	N	C	P	K ₂ O	Cd	As	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CIC	Bas. Camb	Ac. Camb.	Sat. Al
			Ao	Arc	Lo		dS/m		M.O	total	Orgánico	disponible	total	Calcio	Magnesio		Potasio	Sodio	Aluminio	Higrógeno	%	%		%		
	CODIGO DEL LABORATORIO	COD SOLIC.	%	%	%	01:01	01:01	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						%	%	%			
1	S24-1239	M 001	37	25	38	Franco	0.16	6.46	1.34	0.067	0.779	21.373	334.544	1.958	51.635	9.789	7.68	1.168	0.796	0.146	0.000	0.000	-	100.000	0.000	0.000

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.
Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
VND: VALOR NO DETECTADO – MENOR AL LIMITE DE DETECCION 0.002



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María


Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología
Carretera Central Km 1.21 - Tingo María



ANEXO 8

RESULTADO DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE CD Y AS EN LA RAÍZ DE LAS MALEZAS IDENTIFICADAS



ANÁLISIS ESPECIAL



SOLICITANTE:	LUZ MORALES ALVARADO	FECHA DE REPORTE :	20/12/2024
PROCEDENCIA:	SANTA ROSA - HUACAR - HUANUCO	MUESTRA:	FOLIAR

RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

DATOS DE LA MUESTRA			RESULTADOS	
Código del Laboratorio	Código del Solicitante	Referencia	CADMIO Cd (mg/Kg)	ARSENICO As (mg/Kg)
E24-234-1	Amaranthus spinosus L.	M1	0.5467	12.2201
E24-234-2	Sonchus oleraceus	M2	0.5253	12.9656
E24-234-3	Plantago lanceolata L.	M3	0.3814	11.1312
E24-234-4	Bidens tripartita	M4	0.6565	12.5133
E24-234-5	Crotalaria longirostrata	M5	0.7308	12.6255
E24-234-6	Bidens pilosa L.	M6	0.6958	12.5456
E24-234-7	Phaselous vulgaris	M7	1.2008	10.9852
E24-234-8	Bromus catharticus	M8	0.219	10.9899
E24-234-9	Chenopodium album L.	M9	0.13503	10.3225
E24-234-10	Paspalum setaceum	M10	0.6645	12.5654
E24-234-11	Dysphania ambrosioides	M11	0.5406	10.3223
E24-234-12	Helminthotheca echioides	M12	0.5349	10.1319
E24-234-13	Ipomoea purpurea	M13	1.5349	15.6523
E24-234-14	Sonchus asper L.	M14	2.5349	15.9552

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad de la entidad que lo produce.

VND: VALOR NO DETECTADO – MENOR AL LIMITE DE DETECCIÓN 0.002



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María

Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Gestión de Suelos, Agua y Ecotoxicología
Carretera Central Km 1.21 - Tingo María



analisisdesuelosunas@hotmail.com

CELULAR 944407531

ANEXO 9

RESULTADO DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE POST TEST DE MI MUESTRA DE SUELO



ANÁLISIS DE SUELOS



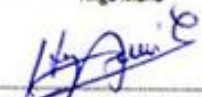
SOLICITANTE:	LUZ MORALES ALVARADO	FECHA DE REPORTE:	20/12/2025
PROCEDENCIA:	SANTA ROSA - HUACAR - HUANUCO	FECHA DE RECEPCIÓN:	16/12/2024
REFERENCIA:	CULTIVO FREJOL CHAUCHA	FECHA DE INICIO DE ENSAYO:	16/12/2024

RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

N°	DATOS		ANALISIS FISICO					ANALISIS QUIMICO							ANALISIS QUÍMICO												
			Arena	Arcilla	Limo	Clase Textural	CE	Ph	Materia Orgánica	N	C	P	K ₂ O	Cd	As	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CIC	Bas. Camb	Ac. Camb.	Sat. Al	
			Ao	Arc	Lo		dS/m		M.O	total	Orgánico	disponible	total	Calcio	Magnesio		Potasio	Sodio	Aluminio	Higrógeno	%	%		%			
	CODIGO DEL LABORATORIO	COD SOLIC.	%	%	%	01:01	01:01	%	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	CAMBIABLES Cmol(+/)/kg						%	%	%				
1	S24-1239	M 002	37	25	38	Franco	0.16	6.46	1.34	0.067	0.779	21.373	334.544	0.9190	51.530	9.789	7.68	1.168	0.796	0.146	0.000	0.000	-	100.000	0.000	0.000	

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.
Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
VND: VALOR NO DETECTADO – MENOR AL LIMITE DE DETECCIÓN 0.002

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María



Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología
Carretera Central Km 1.21 - Tingo María

