

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**



**T E S I S**

**Fitorremediación empleando la planta Rumex peruanus (Putaq) en la descontaminación de suelos degradados con Presencia metales pesados en el distrito de Yanacancha, Provincia y Región de Pasco**

**Para optar el título profesional de:  
Ingeniero Ambiental**

**Autores:**

**Bach. José Luis VALERIO JARA**

**Bach. Nayely Kimberly HERRERA CHAMORRO**

**Asesor:**

**Mg. Josué Hermilio DIAZ LAZO**

**Cerro de Pasco – Perú – 2025**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**



**T E S I S**

**Fitorremediación empleando la planta Rumex peruanus (Putaq) en la descontaminación de suelos degradados con Presencia metales pesados en el distrito de Yanacancha, Provincia y Región de Pasco**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Dr. Rommel Luis LOPEZ ALVARADO**  
**PRESIDENTE**

---

**Dr. David Johnny CUYUBAMBA ZEVALLOS**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. Edgar Walter PEREZ JUZCAMAYTA**  
**MIEMBRO**



**Universidad Nacional Daniel Alcides  
Carrión Facultad de Ingeniería  
Unidad de Investigación**

**INFORME DE ORIGINALIDAD N° 253-2025-UNDAC/UIFI**

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**Fitorremediación empleando la planta Rumex peruanus  
(Putaq) en la descontaminación de suelos degradados con  
Presencia metales pesados en el distrito de Yanacancha, Provincia y  
Región de Pasco**

Apellidos y nombres del tesista:

**Bach. Valerio Jara, José Luis  
Bach. Herrera Chamorro, Nayely Kimberly**

Apellidos y nombres del Asesor:

**Mg. Diaz Lazo, Josué Hermilio**

Escuela de Formación Profesional

**Ingeniería Ambiental**

Índice de Similitud

**15 %**

**APROBADO**

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 03 de abril del 2025



**UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DANIEL  
ALCIDES  
CARRION  
[AVANZADA]**

Firmado digitalmente por PALOMINO  
ISIDRO Ruben Edgar FAU  
20154605046 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 03.04.2025 16:08:26 -05:00

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado, en primer lugar, a mis padres, por su incondicional amor, apoyo y confianza a lo largo de mi vida y mis estudios. Sin su sacrificio y guía, este logro no habría sido posible.

A mis profesores y mentores, cuyo conocimiento y paciencia me han guiado y desafiado a lo largo de este viaje académico. Gracias por inspirarme a ser mejor y por compartir su pasión por el aprendizaje.

A mis amigos, que han sido mi fuente de ánimo y han compartido conmigo tanto los momentos de esfuerzo como las alegrías de cada pequeño triunfo.

## **AGRADECIMIENTO**

A los distinguidos profesores Dr. Hector Oscanoa Salazar, Dr. David Johnny Cuyubamba Zevallos, Mg. Rosario Marcela Vásquez García y los demás docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, mi más profundo agradecimiento por la formación académica y humana que me han brindado.

Gracias por compartir su vasto conocimiento, por sus enseñanzas llenas de sabiduría y por su dedicación para guiarnos a través de este desafiante pero gratificante camino. Su compromiso con la excelencia académica y su pasión por la ingeniería ambiental han dejado una huella imborrable en mi desarrollo como estudiante y futuro profesional.

Su dedicación, compromiso y pasión por la enseñanza han sido fundamentales en mi crecimiento profesional y personal.

Gracias por compartir sus conocimientos, por sus valiosas enseñanzas y por motivarnos a ser agentes de cambio comprometidos con la sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente.

## RESUMEN

El estudio aborda la adaptabilidad y acumulación de metales pesados en *Rumex peruanus* Rech.fil. (Putaqqa), una planta nativa de Perú, evaluando su potencial para la fitorremediación en áreas contaminadas. La problemática se centra en la contaminación por metales pesados como zinc y manganeso, que afecta la salud pública y ambiental. Los objetivos incluyen analizar la capacidad de acumulación de metales en diferentes partes de la planta y evaluar su adaptabilidad fisiológica a estas condiciones. La metodología involucró la recolección de muestras de plantas y suelos en sitios contaminados, análisis en laboratorio mediante espectroscopía de absorción atómica y pruebas fisiológicas. Los resultados mostraron concentraciones de Zn hasta 1840 mg/kg y Mn hasta 6400 mg/kg en hojas viejas, sin cambios significativos en la concentración de clorofila, indicando adaptación. El factor de translocación reveló una eficiente movilidad de metales desde las raíces a las hojas. Comparativamente, *R. peruanus* mostró una adaptabilidad similar a *R. hydrolapathum*, sin diferencias significativas en la acumulación de Zn. Las conclusiones destacan el potencial de *R. peruanus* para la fitorremediación, debido a su capacidad de acumular y adaptarse a altos niveles de metales, lo que la convierte en una herramienta prometedora para la recuperación de suelos contaminados.

**Palabras Claves:** Contaminación, fitorremediación, *Rumex*, adaptabilidad.

## ABSTRACT

The study addresses the adaptability and accumulation of heavy metals in *Rumex peruanus* Rech.fil. (Putaqqa), a native Peruvian plant, evaluating its potential for phytoremediation in contaminated areas. The problem focuses on the contamination by heavy metals such as zinc and manganese, which affects public and environmental health. The objectives include analyzing the capacity of accumulation of metals in different parts of the plant and evaluating its physiological adaptability to these conditions. The methodology involved the collection of plant and soil samples from contaminated sites, laboratory analysis by atomic absorption spectroscopy and physiological tests. The results showed Zn concentrations up to 1840 mg/kg and Mn up to 6400 mg/kg in old leaves, without significant changes in chlorophyll concentration, indicating adaptation. The translocation factor revealed an efficient mobility of metals from roots to leaves.

from roots to leaves. Comparatively, *R. peruanus* showed similar adaptability to *R. hydrolapathum*, with no significant differences in Zn accumulation. The conclusions highlight the potential of *R. peruanus* for phytoremediation, due to its ability to accumulate and adapt to high levels of metals, which makes it a promising tool for the remediation of contaminated soils.

**Keywords:** Contamination, phytoremediation, *Rumex*, adaptability.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental, particularmente por metales pesados, representa un desafío significativo para la salud pública y la sostenibilidad ambiental. La acumulación de metales pesados como el zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso, plomo (Pb) y cadmio (Cd), en el ecosistemas terrestres y acuáticos puede causar efectos adversos en la flora, la fauna y, eventualmente, en los seres humanos. En este contexto, la fitorremediación emerge como una técnica prometedora para la recuperación de suelos contaminados, utilizando plantas para extraer, estabilizar y/o degradar contaminantes.

El estudio, se centra en la planta *Rumex peruanus* Rech.fil. (Putaq), una especie nativa de Perú, conocida por su potencial en la acumulación y adaptación a altos niveles de metales pesados. La investigación se llevó a cabo en varias etapas, desde la recolección de muestras en campo hasta el análisis detallado en laboratorio. Se seleccionaron sitios representativos con diferentes niveles de contaminación metálica para evaluar la capacidad de la especie *R. peruanus* en la acumulación de Zn, Mn, Cu, Cd y Pb.

Los resultados de este estudio son significativos. En hojas viejas de *R. peruanus*, se registraron concentraciones de Mn hasta 640 mg/kg) y Cd (0.24-2.1 mg/kg), Cu (38.4-81.3 mg/kg), Pb (18.1-138.5 mg/kg) y Zn (44.1-294.7 mg/kg) . Estas cifras destacan el potencial de la planta para la acumulación de metales pesados en tejidos específicos, lo que es crucial para su uso en fitorremediación. La ausencia de cambios significativos en la concentración de clorofila y fluorescencia de clorofila a, sugiere una adaptación fisiológica de la planta a altas concentraciones de metales, demostrando una tolerancia considerable sin comprometer su proceso fotosintético (Blanco Benavente & Paricahua Sinca, 2020).

La capacidad de *R. peruanus* para translocar metales desde las raíces a las partes aéreas también se evaluó mediante la acumulación de Ca en la región vascular de Ap, con un FBC  $\leq 1$  para Cu, Zn, Cd y Pb, es un problema que requiere mayor

verificación en el futuro. En general, este estudio recomienda evitar el crecimiento de *E. camaldulensis* en minas contaminadas con metales pesados. Estos resultados subrayan la eficiencia de *R. peruanus* en la movilidad y acumulación de estos metales en diferentes partes de la planta, lo que es esencial para su aplicación en la descontaminación de suelos.

Los análisis comparativos con otras especies del género *Rumex*, como *R. hydrolapathum*, revelaron que no existen diferencias estadísticamente significativas en la acumulación de Zn entre ambas especies, lo que indica un comportamiento adaptativo similar en condiciones de alta contaminación metálica. Esta conclusión se basa en una prueba t de muestras independientes, con un valor p mayor a 0.05 (0.272), lo que refuerza la adaptabilidad de *R. peruanus*.

En suma, *Rumex peruanus* muestra un potencial considerable como candidato para la fitorremediación, especialmente en áreas urbanas e industriales altamente contaminadas. Su capacidad de adaptación fisiológica y acumulación de metales pesados puede contribuir significativamente a la mitigación de la contaminación ambiental y a la restauración de suelos degradados. Por lo que el estudio proporciona una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en el campo de la fitorremediación, ofreciendo una herramienta viable para ingenieros ambientales en la gestión y recuperación de ecosistemas afectados por metales pesados.

## ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
ÍNDICE	

### CAPITULO I

#### PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema .....	1
1.2. Delimitación de la investigación .....	4
1.3. Formulación del problema.....	5
1.3.1. Problema general .....	5
1.3.2. Problemas específicos .....	5
1.4. Formulación de Objetivos. ....	5
1.4.1. Objetivo general .....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. Justificación de la investigación .....	7
1.5.1. Justificación social.....	7
1.5.2. Justificación Económica .....	7
1.6. Limitaciones de la investigación.....	9

### CAPITULO II

#### MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio .....	10
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	10
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	12
2.2. Bases teóricas - científicas .....	14
2.2.1. Contaminación de suelos .....	14

2.2.2. Características de la planta nativa Rumex peruanus Rech.fil (Putaqá)..	32
2.3. Definición de términos básicos .....	35
2.4. Formulación de hipótesis .....	38
2.4.1. Hipótesis general.....	38
2.4.2. Hipótesis específicas.....	38
2.5. Identificación de las variables .....	38
2.5.1. Variable independiente.....	38
2.5.2. Variable dependiente.....	38
2.6. Definición Operacional de variables e indicadores.....	38

### **CAPITULO III**

#### **METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION**

3.1. Tipo de Investigación .....	40
3.2. Nivel de Investigación .....	40
3.3. Métodos de investigación .....	41
3.4. Diseño de investigación .....	42
3.5. Población y muestra .....	42
3.5.1. Población .....	42
3.5.2. Muestra .....	42
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	44
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación. ....	44
3.8. Técnicas de procesamientos y análisis de datos .....	45
3.9. Tratamiento Estadístico .....	45
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica.....	45

### **CAPITULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. Descripción del trabajo de campo.....	47
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	56
4.3. Prueba de Hipótesis.....	59

4.4. Discusión de resultados.....	59
-----------------------------------	----

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1</i> <i>Coordenadas Geográficas</i> .....	5
<i>Tabla 2</i> <i>Acumulación de Cd en la planta Rumex peruanus Rech.fil. (Putaqá)</i> . 53	
<i>Tabla 3</i> <i>Acumulación de Pb en la planta Rumex peruanus Rech.fil. (Putaqá)</i> . 53	
<i>Tabla 4</i> <i>Instrumentos y equipos utilizados</i> .....	54
<i>Tabla 5</i> <i>Equipos de análisis espectrométrico</i> .....	54
<i>Tabla 6</i> <i>Resultados del estudio Rumex hydrolapathum</i> .....	56
<i>Tabla 7</i> <i>Acumulación de metales pesados R hydrolapathum</i> .....	57
<i>Tabla 8</i> <i>Metales pesados en Rumex peruanus</i> .....	58
<i>Tabla 9</i> <i>Comparación de los resultados R. hydrolapathum y R. peruanus</i> .....	58
<i>Tabla 10</i> <i>Prueba de hipótesis de la muestra</i> .....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Ubicación del área de estudio la zona urbana de San Juan Pamba....</i>	4
Figura 2 <i>Fisiología de la especie Rumex peruanus.....</i>	51
Figura 3 <i>Desarrollo de la especie Rumex peruanus.....</i>	52
Figura 4 <i>Análisis de plomo en hojas de Rumex peruanus.....</i>	55
Figura 5 <i>Análisis de la planta Rumex peruanus Rech.fil. (Putaqá).....</i>	56

## **CAPITULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACION**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

La contaminación del suelo por metales pesados es un problema ambiental grave a nivel mundial, causado principalmente por el desarrollo industrial, tecnológico, agropecuario y el uso de fertilizantes químicos. Se espera que los niveles de contaminación aumenten un 50% para el año 2050. Actividades como la agricultura y la minería son las principales responsables de la contaminación química y los cambios físicos en el suelo, generando daños irreversibles y acumulando metales pesados en los primeros diez centímetros del suelo.

A nivel global, los suelos de Europa contienen un 60% de contaminantes inorgánicos, incluyendo Pb, Mn, Cu, As, Cd y Hg. En China, cerca del 19.4% de las tierras agrícolas presentan contaminación por cadmio, níquel y arsénico. En el caso de Perú, las regiones con mayor exposición a metales pesados son Pasco, con un 51.8%, y Junín, con un 28%.

Las poblaciones urbanas asentadas en la ciudad de Cerro de Pasco como: Chaupimarca, San Juan Pampa, Paragsha, y otros, vienen sufriendo durante décadas la contaminación causada por la minería, lo que ha tenido graves consecuencias para la salud, incluyendo enfermedades crónicas y

mortales. Estudios ambientales, como el más reciente de la ONG Source International, han revelado niveles extremadamente altos de metales pesados en el agua y el suelo, superando ampliamente los límites de seguridad nacionales y de la OMS. Esta contaminación ha afectado significativamente el coeficiente intelectual de los niños de la región. Ni el gobierno peruano ni la empresa minera Volcán han tomado medidas efectivas para solucionar el problema o responder a las peticiones de ayuda de las poblaciones. La mina a cielo abierto, conocida como Raúl Rojas, amenaza con engullir la ciudad, mientras que las condiciones de vida continúan deteriorándose en uno de los lugares más contaminados del mundo. A pesar de esto, la empresa minera sigue evadiendo su responsabilidad y las autoridades permanecen en gran medida inactivas.



Los suelos de la zona urbana de San Juan Pampa presentan la presencia de estos metales, siendo un riesgo considerable tanto para para la salud humana y el medio ambiente las personas que lo habitan se expone a esta condición de vida. La flora existente el cual es escasa de vegetación y la presencia de metales pesados en el suelo, tales como plomo, cobre,

manganeso, arsénico, y, otros, junto con diversos compuestos químicos provenientes de la actividad industrial y minera, constituye una seria amenaza para el medio ambiente y la salud.

La remediación de suelos, según Villanueva (2007), es un conjunto de técnicas que buscan reducir la concentración de metales pesados y otros contaminantes a través de procesos bioquímicos realizados por las plantas y los microorganismos que las acompañan, estas especies son capaces de absorber, acumular, transformar, volatilizar o inmovilizar los contaminantes presentes en el suelo, el aire, el agua o los sedimentos.

La fitoestabilización es uno de los métodos aplicados en la remediación de suelos, utilizando plantas nativas que tienen la capacidad de tolerar y desarrollarse en ambientes con elevadas concentraciones de metales. Este método tiene la ventaja de no alterar significativamente el paisaje, preservando el ecosistema y permitiendo la conversión de áreas tratadas en parques recreativos o zonas de cultivo. Además, reduce los riesgos ambientales y para la salud humana.

Para realizar la fitoestabilización, es esencial seleccionar plantas adecuadas que puedan absorber metales pesados a través de sus raíces, como aquellas que ya han demostrado capacidad para descontaminar suelos. Un ejemplo es la Putaqa, una planta medicinal cuyas raíces son resistentes a altas concentraciones de metales. A medida que estas plantas crecen, estabilizan el suelo y disminuyen la movilidad de los contaminantes, evitando su dispersión hacia el agua o el aire.

Debido a la falta de explicaciones técnicas y científicas sobre la fitoestabilización y el uso de plantas como la Putaqa, es fundamental desarrollar sistemas para evaluar, medir, monitorear y controlar su interacción y comportamiento en ambientes con alta concentración de metales pesados, como los suelos contaminados de San Juan Pampa en la ciudad de Cerro de

Pasco. Esto nos ayuda a comprender mejor su efectividad y optimizar su uso en la remediación de suelos desde una perspectiva ambiental.

## 1.2. Delimitación de la investigación

El proyecto de investigación se realizará:

Región : Pasco

Provincia : Pasco

Distrito : Yanacancha

Lugar : San Juan Pampa

Altitud : 3 340 m.s.n.m

### Tiempo:

Inicio: 01 de diciembre 2023

Final: 30 de mayo 2024

4 meses de duración

**Figura 1** Ubicación del área de estudio la zona urbana de San Juan Pampa



**Tabla 1** *Coordenadas Geográficas*

COORDENADAS DE UBICACIÓN
NORTE: 8820351.00 m S
ESTE: 362869.00 m E

### **1.3. Formulación del problema**

#### **1.3.1. Problema general**

¿En qué medida la planta *Rumex peruanus* (Putaqá) puede contribuir a la descontaminación de suelos degradados con presencia de metales pesados en el distrito de Yanacancha, provincia y región de Pasco??

#### **1.3.2. Problemas específicos**

- a. ¿Qué capacidad de absorción de metales pesados (como plomo, cobre, manganeso, cadmio y zinc) presenta *Rumex peruanus* en suelos contaminados del distrito de Yanacancha?
- b. ¿Cuál es la eficacia de la fitorremediación con *Rumex peruanus* en la mejora de las propiedades físico-químicas del suelo degradado en dicha zona?

### **1.4. Formulación de Objetivos.**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Evaluar la eficacia de la planta *Rumex peruanus* (Putaqá) en la fitorremediación de suelos degradados contaminados con metales pesados en el distrito de Yanacancha, provincia y región de Pasco.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a. Determinar la capacidad de absorción de metales pesados (como plomo, cadmio y zinc) por parte de la planta *Rumex peruanus* en condiciones de suelo contaminado.
- b. Analizar los cambios en las propiedades físico-químicas del suelo antes y después del proceso de fitorremediación con *Rumex peruanus*

## **Importancia y alcances de la investigación**

### **A. Importancia de la Investigación:**

La contaminación por metales pesados es una de las mayores preocupaciones ambientales en la actualidad debido a sus efectos negativos en la salud humana, los ecosistemas y la biodiversidad. Investigar la capacidad de remediación de suelos empleando el *Rumex peruanus* (Putaq), por la fácil adaptabilidad al clima, al suelo y la absorción a altos niveles de metales pesados es crucial, ya que ofrece una solución natural y sostenible para limpiar suelos contaminados. La fitorremediación, que utiliza plantas para extraer y estabilizar contaminantes, es una alternativa ecológica y económica a las técnicas tradicionales de limpieza, las cuales suelen ser costosas y dañinas para el medio ambiente. Este estudio también mejora nuestra comprensión de los mecanismos de adaptación y tolerancia de las plantas a la contaminación por metales pesados, proporcionando valiosa información para futuras investigaciones y aplicaciones en biotecnología y restauración ambiental.

### **B. Alcances de la Investigación:**

Esta investigación tiene un alcance amplio y diverso, abarcando tanto aspectos científicos como prácticos. Proporciona datos detallados sobre la adaptabilidad de la planta *Rumex peruanus* a suelos con altas concentraciones de metales pesados. El cual absorbe y acumula estos metales en distintas partes de la planta, lo cual es esencial para evaluar su eficacia en la remediación de suelos. Estos datos pueden servir como base para desarrollar protocolos y estrategias específicas para la remediación de diferentes tipos de suelos contaminados. En el ámbito académico, los resultados enriquecen el conocimiento sobre la ecología y fisiología de *Rumex peruanus*, aportando información valiosa para estudios comparativos con otras especies del género *Rumex*. Desde una perspectiva

práctica, identificar a *R. peruanus* como una planta adecuada para la fitorremediación puede facilitar su uso en proyectos de recuperación ambiental en áreas urbanas e industriales, mejorando la calidad del suelo y reduciendo la biodisponibilidad de metales tóxicos.

## **1.5. Justificación de la investigación**

Esta investigación es fundamental, ya que explora el uso de la planta *Rumex peruanus* Rech.fil (Putaqá) por su capacidad para adaptarse a condiciones climáticas extremas y suelos con altos niveles de metales pesados. Su capacidad para absorber y reducir la contaminación del suelo la convierte en una herramienta valiosa para disminuir la presencia de metales pesados en el entorno, contribuyendo significativamente a mitigar los impactos negativos de la contaminación ambiental.

### **1.5.1. Justificación social**

Esta investigación tiene como objetivo informar a la población sobre la importancia de la planta nativa *Rumex peruanus* Rech.fil (Putaqá) y su capacidad para resistir factores adversos del cambio climático, así como para acumular metales pesados en sus hojas, tallos y raíces. Al destacar estas propiedades, se espera mitigar los efectos de los metales pesados que podrían afectar a los habitantes del distrito de Yanacancha.

### **1.5.2. Justificación Económica**

La remediación de suelos contaminados por metales pesados no solo tiene beneficios ambientales y de salud pública, sino que también puede tener significativas ventajas económicas. Estos beneficios incluyen la mejora del valor de la propiedad, la seguridad alimentaria, el cumplimiento normativo y la preservación de la biodiversidad.

#### **A. Salud pública**

La exposición a metales pesados puede provocar afecciones respiratorias, daños neurológicos, alteraciones en el desarrollo y aumentar el riesgo de

cáncer. La remediación de suelos contaminados previene estas enfermedades, reduciendo los costos de atención médica y la pérdida de productividad laboral.

#### **B. Seguridad alimentaria**

Los suelos contaminados pueden afectar negativamente a la calidad de vida de las personas que habitan en la ciudad de San Juan Pampa, al introducir altos niveles de metales pesados en los cultivos, comprometiendo la seguridad alimentaria. La remediación de estos suelos garantiza que los alimentos producidos en estas áreas sean seguros para el consumo humano y animal, previniendo brotes de enfermedades transmitidas por alimentos y evitando pérdidas económicas para los agricultores.

#### **C. Valor de la propiedad**

La contaminación del suelo puede reducir el valor de la propiedad y dificultar su venta o desarrollo. La remediación puede restaurar la calidad del suelo, incrementando el valor de la propiedad y abriendo oportunidades para el desarrollo urbano, la construcción de viviendas y la inversión inmobiliaria.

#### **D. Cumplimiento normativo**

Muchos países tienen regulaciones estrictas que exigen la remediación de suelos contaminados. La falta de cumplimiento de estas regulaciones puede conllevar la imposición de multas y penalizaciones económicas para los propietarios de la tierra o las empresas responsables de la contaminación. La remediación asegura el cumplimiento de estas regulaciones, evitando costos adicionales por infracciones.

#### **E. Impacto en la biodiversidad**

La contaminación del suelo puede impactar gravemente la biodiversidad local, provocando la muerte de especies vegetales y animales, la destrucción de hábitats y la degradación de los ecosistemas.. La remediación ayuda a restaurar estos ecosistemas y a preservar la

biodiversidad, beneficiando a la sociedad que dependen de estos recursos naturales.

## **1.6. Limitaciones de la investigación**

La presente investigación presenta algunas limitaciones que vale la pena mencionar:

### **A. Poca información sobre la especie a investigar**

La escasez de información detallada sobre la planta nativa *Rumex peruanus* Rech.fil (Putaq) puede dificultar una comprensión completa de su comportamiento, características y potencial para la remediación de suelos contaminados. Esta falta de datos puede afectar la precisión de los resultados y la interpretación de los hallazgos.

### **B. Costo de instalación y ejecución del proyecto**

El tesista puede enfrentarse a limitaciones financieras significativas para llevar a cabo el proyecto de investigación. Los costos asociados con la adquisición de equipos, materiales de laboratorio, análisis de muestras y otros recursos pueden ser elevados y difíciles de cubrir con un presupuesto limitado.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

(Koenemann, Kistler, & Burke, 2023) El género *Rumex* L. (Polygonaceae) proporciona un sistema único para investigar el desarrollo evolutivo de la determinación del sexo y la evolución de la tasa molecular. Históricamente, *Rumex* se ha dividido, tanto taxonómica como coloquialmente, en dos grupos: «muelles» y «acederas». Una filogenia bien resuelta puede ayudar a evaluar una base genética para esta división. Aquí presentamos una filogenia plastómica para 34 especies de *Rumex*, inferida utilizando criterios de máxima verosimilitud. Los «muelles» históricos (*Rumex* subgénero *Rumex*) se resolvieron como monofiléticos. Las «acederas» históricas (*Rumex* subgénero *Acetosa* y *Acetosella*) se resolvieron juntas, aunque no monofiléticas debido a la inclusión de *R. bucephalophorus* (*Rumex* subgénero *Platypodium*). *Emex* se considera su propio subgénero dentro de *Rumex*, en lugar de resolverse como taxones hermanos. Encontramos una diversidad nucleotídica notablemente baja entre las dunas, consistente con una diversificación reciente en ese grupo, especialmente en comparación con las acederas. La calibración fósil de la filogenia sugiere que el ancestro común de *Rumex* (incluido *Emex*) tiene su

origen en el Mioceno inferior (22,13 MYA). Las acederas parecen haberse diversificado posteriormente a un ritmo relativamente constante. El origen de las acederas, sin embargo, se situó en el Mioceno superior, pero la mayor parte de la especiación tuvo lugar en el Plio-Pleistoceno.

(Grant, 2020) el proyecto tiene como objetivo construir un árbol filogenético para el género *Rumex* utilizando nuevos datos moleculares e investigar los orígenes de los sistemas reproductivos dioicos dentro de este género. Para lograrlo, el estudio analizó la ubicación filogenética de 110 muestras de plantas, que incluían 7 especies outgroup, 3 especies del género *Emex* y 100 especies de *Rumex*. Las relaciones filogenéticas se reconstruyeron utilizando tres marcadores de cloroplasto: *rbcL*, *trnH-psbA*, y *trnL-F*. Los resultados revelaron que los géneros *Rumex* y *Emex*, junto con el subgénero *Platypodium*, forman grupos monofiléticos distintos, mientras que los subgéneros *Acetosa*, *Acetosella* y *Rumex* no son monofiléticos. Los resultados también sugieren que la sinecoia (hermafroditismo) es el sistema reproductivo ancestral de *Rumex*, y que la monocoia es un estadio intermedio entre la sinecoia y la dioia. Estos resultados ayudan a inferir los orígenes evolutivos de los sistemas reproductivos dioicos y el desarrollo de cromosomas sexuales heteromórficos en *Rumex*.

Análisis fitoquímico: Otro objetivo del proyecto era explorar la diversidad fitoquímica en la *Rumex acetosa* dioica, examinando específicamente cómo la asignación de recursos afecta a la distribución del ácido oxálico. El estudio evaluó cómo la edad y el sexo de la planta influyen en los niveles de ácido oxálico utilizando el Análisis Directo en Tiempo Real por Espectrometría de Masas de Alta Resolución (DART-HRMS). En el análisis participaron 24 plantas de 3 y 7 meses de edad, y se utilizaron como sujetos tanto plantas macho como plantas hembra. Los resultados confirmaron la presencia de ácido oxálico a  $m/z$  88,9704 en el modo de iones negativos. Además, el estudio descubrió que las

plantas más jóvenes de *R. acetosa* tienen mayores niveles de ácido oxálico que las más viejas, y que las plantas femeninas tienen mayores niveles de ácido oxálico que las masculinas. Estos hallazgos proporcionan información sobre el impacto de la edad y el sexo en la fitoquímica de *Rumex acetosa*.

(Gutte, Müller, & Müller, 1986) Se registra el primer hallazgo de 40 especies y 32 hallazgos de especies raras en Perú, pertenecientes a las siguientes familias: Ranunculaceae, Fumariaceae, Caryophyllaceae, Aizoaceae, Cactaceae, Basellaceae, Chenopodiaceae, Amaranthaceae, Polygonaceae, Urticaceae, Crassulaceae, Rosaceae, Mimosaceae, Fabaceae, Onagraceae, Rutaceae, Oxalidaceae, Geraniaceae, Euphorbiaceae, Apiaceae, Passifloraceae, Elatinaceae, Brassicaceae, Tiliaceae, Malvaceae y Primulaceae. Continuamos la documentación sobre la Flora del Perú (Müller, Müller & Gutte 1981). Se presentan 40 especies como novedades florísticas para el Perú y también nuevos sitios de hallazgo de 32 especies raras de las familias: Ranunculaceae, Fumariaceae, Caryophyllaceae, Aizoaceae, Cactaceae, Basellaceae, Chenopodiaceae, Amaranthaceae, Polygonaceae, Urticaceae, Crassulaceae, Rosaceae, Mimosaceae, Fabaceae, Onagraceae, Rutaceae, Oxalidaceae, Geraniaceae, Euphorbiaceae, Apiaceae, Passifloraceae, Elatinaceae, Brassicaceae, Tiliaceae, Malvaceae y Primulaceae.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

(Sanchez Mori, 2019) El objetivo de este estudio es caracterizar botánicamente y físico-químicamente la planta comestible *Rumex crispus* L., conocida localmente como mala yerba, del distrito de Lámud, en la provincia de Luya, departamento de Amazonas, Perú. La investigación se realizó con plantas comestibles de *Rumex crispus* L., recolectadas en el distrito mencionado. Las muestras se recolectaron en la etapa de desarrollo óptima para el consumo. La investigación corresponde a un diseño no experimental y transversal. Se obtuvo

un total de 1,00 kg de plantas, recolectadas aleatoriamente en cinco puntos distintos del cultivo, todos en condiciones adecuadas para su consumo. Las plantas fueron limpiadas en el lugar de recolección, separando las partes comestibles, y transportadas al laboratorio en menos de 48 horas, manteniéndolas refrigeradas durante el traslado. El análisis físico-químico se realizó en los Laboratorios Calidad Total, ubicados en La Molina, Lima. Según información del Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Agraria La Molina, *Rumex crispus* L. pertenece a la División Magnoliophyta, Clase Magnoliopsida, Subclase Caryophyllidae, Orden Polygonales, Familia Polygonaceae, Género *Rumex*, y Especie *Rumex crispus* L., conocida comúnmente como "mala hierba". Las hojas jóvenes de esta planta destacan por su bajo aporte calórico (41,20 Kcal%), ausencia de grasas y un contenido relevante de proteínas (4,0 g%) y fibra cruda (1,60 g%). Además, este alimento es seguro para el consumo, sin trazas de residuos de plaguicidas. Gracias a sus propiedades antioxidantes, *Rumex crispus* L. se clasifica como un alimento funcional y es recomendado en dietas para la pérdida de peso. Las hojas tiernas de esta planta se consumen principalmente cocidas en guisos con papas, y tienen una buena aceptación similar a la de otras verduras comestibles como el yuyo serrano y la acelga. La evaluación sensorial ha mostrado que la textura y el sabor son aceptables para su inclusión en diversas preparaciones culinarias.

(Pillaca Medina, 2006) menciona que el estudio se llevó a cabo en los laboratorios del Centro de Desarrollo, Análisis y Control de Calidad de Medicamentos y Fitomedicamentos de la Escuela de Formación Profesional de Farmacia y Bioquímica de la UNSCH, así como en el laboratorio de Farmacotecnia de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la UNMSM, con el objetivo de desarrollar un champú utilizando extractos de hojas de *Rumex peruanus* durante el año 2005. Las hojas se recolectaron en el distrito Los Morochucos, provincia de Cangallo, en nuestra región.

Para la identificación de los metabolitos secundarios presentes en las hojas, se aplicó el método descrito por Miranda y Cuellar. La elaboración del champú, junto con sus respectivos controles de calidad, análisis microbiológico y pruebas de estabilidad, se llevó a cabo conforme al método propuesto por Charlet, E. Entre los metabolitos secundarios detectados en las hojas se encuentran flavonoides, taninos, compuestos fenólicos, lactonas, cumarinas, aminoácidos, sustancias reductoras, catequinas, azúcares reductores, quinonas, antocianidinas, cardenólidos, aceites y grasas, triterpenos, esteroides, saponinas y mucílagos.

Se elaboraron champús a partir de extractos acuosos, hidroalcohólicos y etéreos de hojas de *Rumex peruanus*. La formulación A resultó ser la más aceptable en comparación con las formulaciones B y C, mostrando un HLB de 14.0, pH de 6.95, densidad de 1.02904 g/ml, viscosidad de 15 cp, y un nivel de espuma de 17.35 mm. Además, esta formulación demostró estar libre de microorganismos patógenos, siendo adecuada para su uso humano.

## **2.2. Bases teóricas - científicas**

### **2.2.1. Contaminación de suelos**

El término "contaminación del suelo" se refiere a la presencia de sustancias químicas o compuestos en el suelo en concentraciones perjudiciales, ya sea por causas naturales o actividades humanas, que afectan negativamente a los organismos que no están adaptados para tolerarlas (FAO y GTIS, 2015). Aunque algunos contaminantes pueden estar naturalmente presentes en el suelo como parte de los minerales, la mayoría proviene de la actividad humana, y la variedad y complejidad de estos contaminantes han aumentado con el desarrollo de la minería, la industria y el uso de agroquímicos en la actividad de la agricultura.

La contaminación del suelo, a menudo imperceptible a simple vista, representa una amenaza oculta para la salud del suelo y los servicios

ecosistémicos que este proporciona. El uso del suelo como depósito de desechos sólidos y líquidos ha llevado a la acumulación de contaminantes derivados de la industrialización, conflictos bélicos, minería y prácticas agrícolas intensivas (Bundschuh et al., 2012; DEA, 2010; EEA, 2014; Luo et al., 2009; SSR, 2010).

Este problema se ha vuelto alarmante y es reconocido como una de las principales amenazas para las funciones del suelo en muchas partes del mundo. Las consecuencias de la contaminación del suelo incluyen desequilibrios en los ciclos de nutrientes, acidificación del suelo y riesgos significativos para la salud humana y ambiental (FAO y GTIS, 2015). A pesar de la gravedad del problema, las estimaciones globales sugieren que la magnitud de la contaminación del suelo podría estar subestimada. Por ejemplo, en China, el 19% de los suelos agrícolas están contaminados, mientras que en la Zona Económica Europea se han identificado aproximadamente 3 millones de sitios potencialmente contaminados (CCICED, 2015; EEA, 2014). En Estados Unidos, más de 1,300 sitios contaminados están en la Lista de Prioridades Nacionales del Superfondo (US EPA, 2013).

En este contexto, la evaluación y rehabilitación de suelos contaminados se ha convertido en una necesidad urgente. Aunque se han realizado esfuerzos nacionales para estimar la contaminación ambiental, la complejidad del problema y la falta de datos exhaustivos presentan desafíos significativos. Por lo tanto, la investigación científica y la implementación de regulaciones son cruciales para abordar esta amenaza global. Este libro, desarrollado en el marco del Simposio Global sobre Contaminación del Suelo (GSOP18), resume las tecnologías más recientes en este campo y destaca los principales contaminantes que afectan la salud humana y el medio ambiente, con un enfoque especial en la contaminación en sistemas agrícolas que impactan la cadena alimentaria (FAO, 2019).

## **A. Contaminación de Suelos por Metales Pesados**

Los contaminantes del suelo pueden tener dos orígenes: geogénicos y antropogénicos. Los geogénicos dependen en gran medida de la geodisponibilidad, que es la porción del contenido total de un elemento o compuesto químico en un material terrestre que puede liberarse a la superficie o cerca de ella mediante procesos mecánicos, químicos o biológicos (Plumlee, 1994).

Los metales pesados geodisponibles son aquellos que, tras procesos de meteorización, se liberan de la roca madre y se incorporan a los suelos. Estos metales, junto con los originados por emisiones volcánicas y lixiviados de depósitos minerales, se clasifican como de origen geogénico. La liberación de estos elementos está determinada por la estructura y la estabilidad termodinámica de los minerales presentes en la roca; las estructuras altamente polimerizadas presentan mayor estabilidad y resistencia a la descomposición, siendo los silicatos los minerales que generalmente muestran mayor estabilidad. Estudios recientes han demostrado que tanto los minerales como los vidrios aumentan su velocidad de disolución con la disminución del contenido en sílice, y que los vidrios se disuelven más rápidamente que los minerales con la misma relación Al/Si (Wolf-Boenisch et al., 2004).

La liberación de cationes desde las rocas a través de procesos de meteorización está influenciada por diversos factores, entre ellos el clima, la topografía, la permeabilidad de la roca (que determina su capacidad de drenaje), el tiempo de exposición y la actividad biológica. Los microorganismos desempeñan un papel fundamental en la descomposición de minerales y en la regulación de los ciclos geoquímicos de los principales nutrientes, así como de numerosos elementos traza.

Por otro lado, la contribución de los elementos presentes en las rocas al suelo es mínima cuando se compara con el impacto de las actividades humanas. Los metales pesados tienden a ser muy estables en el suelo y, durante el proceso natural de formación del suelo (edafización), suelen acumularse sin superar, en la mayoría de los casos, los niveles considerados tóxicos. Aunque estos metales permanecen en formas químicamente estables, su disponibilidad para los organismos es generalmente baja. Los suelos derivados de rocas ultrabásicas, como las peridotitas, presentan altos contenidos en metales pesados (Pb, Cd, Cr, Ni, Cu y Mn), mientras que las rocas ígneas ácidas y las sedimentarias (areniscas y calizas) tienen menores concentraciones.

Las principales concentraciones anómalas de metales pesados en los suelos se originan a partir de menas metálicas, como sulfuros y óxidos. La explotación y procesamiento de estos minerales generan residuos que liberan grandes cantidades de metales pesados al medio ambiente, afectando especialmente los suelos. En estas zonas, las capas superficiales del suelo suelen mostrar altos niveles de Pb, Zn, Cu, Ni, As, Se, Cd, Fe, entre otros, según el tipo de mineralización explotada.

Las fuentes antropogénicas de metales pesados en los suelos abarcan actividades agrícolas, generación de energía, procesos industriales y desechos domésticos. La agricultura contribuye a la acumulación de metales mediante el uso de riego, fertilizantes inorgánicos, pesticidas, estiércol, correctores calcáreos y lodos de depuradoras. Asimismo, la combustión de carbón y petróleo para la producción de energía eléctrica constituye otra fuente importante de metales pesados. Las industrias, especialmente las fábricas de hierro y acero, la fabricación de baterías y la producción de productos químicos, fármacos, pigmentos y tintes, contribuyen a la contaminación del suelo. Además, los residuos domésticos,

tanto por su enterramiento como por su incineración, liberan metales al suelo y la atmósfera (Galan Huertos & Romero Baena, 2008).

## **B. Contaminación con metales pesados en la ciudad de Cerro de Pasco**

Esta investigación realizada por Díaz Lazo (2016) se centra en las áreas de mayor concentración de la población más vulnerable a los efectos tóxicos del plomo en sangre en la ciudad de Cerro de Pasco, específicamente en los distritos de Chaupimarca, Yanacancha y Simón Bolívar, en la provincia de Pasco, departamento de Pasco. Cerro de Pasco es conocida por ser una zona altamente mineralizada, donde la población se ha asentado durante siglos. A lo largo de la historia, tanto en la época colonial como en la republicana, ha habido migración desde diversas regiones, y en ciertos periodos, la ciudad albergó representaciones comerciales de varios países, consolidándose como la Capital Minera del Perú.

El estudio se focalizó en las poblaciones más vulnerables a la toxicidad del plomo, específicamente mujeres en edad fértil (15 a 45 años) y niños (1 a 12 años) que viven en áreas con suelos contaminados. Se obtuvieron 32 muestras ambientales con niveles de plomo superiores a 1,200 ppm, con la concentración más alta registrada en un camino de tierra cercano a desmontes, alcanzando los 20,000 ppm. Adicionalmente, se recolectaron 192 muestras biológicas con el apoyo de un equipo de epidemiólogos y estadísticos del Centro para el Control y Prevención de Enfermedades de Estados Unidos (CDC), evaluando a niños de 1 a 12 años y mujeres en edad fértil con muestras de sangre.

Los resultados de los análisis de plomo en sangre y orina mostraron una alta prevalencia de intoxicación por metales pesados, determinando que el 53.3% de los niños y el 9.4% de las mujeres en edad fértil presentaban niveles elevados de plomo en sangre ( $\geq 10$   $\mu\text{gPb/dL}$ ). Este estudio es aplicativo, evaluativo y no experimental, utilizando métodos de recolección

de datos y entrevistas personalizadas, procesando la información mediante hojas de cálculo.

La hipótesis planteada sugiere que la contaminación del suelo con plomo tiene un impacto significativo en la sangre de las poblaciones vulnerables de Cerro de Pasco, lo cual fue confirmado por los resultados obtenidos y analizados. Concluimos identificando las áreas con mayor concentración de mujeres en edad fértil y niños expuestos a suelos contaminados con plomo, y se presentaron recomendaciones para mitigar esta situación.

### **C. La minería en el desarrollo urbano de la ciudad de Cerro de Pasco**

Cerro de Pasco es una ciudad ubicada a 4,380 metros sobre el nivel del mar, con una población de aproximadamente 60,000 habitantes. Su historia minera se remonta a la época prehispánica y se intensificó durante la colonia, extendiéndose hasta la actualidad. La ciudad ha experimentado ciclos de explotación de oro, plata, cobre, y actualmente, plomo y zinc. Aunque su contribución a la economía nacional y regional ha sido significativa, esta no se ha reflejado en una asignación proporcional de recursos para abordar sus numerosas necesidades, debido a los estilos de desarrollo aplicados y al centralismo tradicional del Estado. Desde las primeras décadas del siglo XX, el crecimiento de la ciudad en torno a la mina, especialmente alrededor del tajo abierto desde los años 50, ha tenido numerosas implicaciones negativas.

En la década de los 60, la expansión de la mina de Cerro de Pasco, tanto subterránea como a cielo abierto, obligó a la ex Cerro de Pasco Corporation a afectar y desplazar parte de la ciudad de Chaupimarca. Se construyó una nueva ciudad en la zona de San Juan Pampa, a 1.5 km del antiguo centro histórico, con 1,200 viviendas y el equipamiento comunitario necesario. Aunque se reconstruyeron edificaciones urbanas valoradas por la población como parte de su identidad, este proceso de reubicación fue en gran medida

forzoso y no consensuado. Hasta hoy, persisten problemas como la imposibilidad de los propietarios de obtener títulos de propiedad de los terrenos donde residen y conflictos jurisdiccionales entre la Municipalidad Provincial de Chaupimarca y la Municipalidad Distrital de Yanacancha.

Menos de tres décadas después del traslado a San Juan Pampa, Centromin Perú, sucesora pública de la ex Cerro de Pasco, enfrentó la realidad de que las reservas probadas y probables de minerales para el actual tajo abierto solo durarían tres años más. Esto plantea el serio problema de expandir nuevamente la mina o aceptar su colapso, lo cual tendría graves repercusiones económicas y sociales a nivel regional.

El crecimiento del tajo abierto ha traído consigo la acumulación de residuos cerca de la ciudad y ha afectado las lagunas cercanas con relaves mineros. Esto ha resultado en la contaminación del agua (Bianchi & Grassi, 2018), el suelo (Díaz Lazo, 2016) y el aire (Robles Morales et al., 2019) en Cerro de Pasco. La influencia de la minería en el desarrollo urbano es evidente, ya que el 40% del área de la ciudad está ocupada por actividades mineras (Vittor, 2007). Gran parte de esta ocupación corresponde al tajo abierto, que se encuentra en el centro de la ciudad. Esto obliga a los residentes a realizar largos recorridos para interactuar entre sí, ya que la ciudad tiene sus principales áreas de actividad en el centro histórico de Chaupimarca y San Juan. Esta distribución dificulta la creación de economías de escala y obliga a los habitantes a hacer más viajes para acceder a servicios en ambos lugares, como se muestra en la Ilustración 1.

La solución a esta situación debe definirse en un contexto donde, por un lado, las políticas y el marco regulador establecidos por el gobierno para promocionar la inversión privada en la minería han hecho del Perú uno de los países más atractivos para esta industria a nivel mundial. La Agenda de Privatizaciones de 1997 programó la privatización fraccionada de las

Unidades Productivas de Centromin Perú, incluida la de Cerro de Pasco, lo que genera incertidumbre e inestabilidad social. Por otro lado, persisten contradicciones entre la empresa y la comunidad local debido a programas de racionalización de personal, la falta de solución a los problemas de contaminación ambiental generados por los efluentes mineros, a pesar de los avances en proyectos ambientales, y una larga relación de desconfianza mutua y falta de diálogo efectivo. Además, Cerro de Pasco necesita resolver la expansión de la ciudad y el reasentamiento de la población, como parte del Plan Urbano actualizado en 1995 por el Instituto Nacional de Desarrollo Urbano (INADUR) y su consiguiente cumplimiento.

**Ilustración 1:** Imagen satelital de la ciudad de Cerro de Pasco



#### **D. Metales pesados de los suelos de Yanacancha distrito de Yanacancha**

##### **a. Zinc**

El zinc (Zn) es un elemento con baja movilidad dentro de las plantas, pero con muchas funciones esenciales. Muchas enzimas dependen de la presencia de zinc para su estructura y funcionalidad, y se estima que alrededor de 2,800 proteínas requieren zinc para ser sintetizadas y funcionar adecuadamente. El zinc es crucial para la síntesis de carbohidratos durante la fotosíntesis y para la conversión de azúcares

en almidón. También participa en el metabolismo hormonal regulando el nivel de auxinas a través de la síntesis del aminoácido triptófano. Durante la maduración y producción de semillas, el zinc favorece la formación y fertilidad del polen, por lo que su deficiencia impacta más en el rendimiento del grano que en el crecimiento vegetativo. Además, el zinc ayuda a mantener la integridad de las membranas celulares y proporciona tolerancia a las plantas frente a patógenos, especialmente aquellos en el suelo. Es importante destacar que el zinc es uno de los micronutrientes más deficientes en el mundo actualmente, y su carencia puede reducir los rendimientos de los cultivos en un 20% sin presentar síntomas visibles, lo que se conoce como "hambre oculta".

#### ***La dinámica del zinc en el suelo***

La deficiencia de zinc es más común en suelos arenosos, mientras que en los suelos arcillosos es menos frecuente debido a su mayor capacidad de adsorción y retención. Del total de zinc en el suelo, solo el que está en solución y el que puede ser fácilmente desadsorbido es accesible para las plantas, pero también es susceptible a ser lixiviado, especialmente en suelos tropicales. El zinc es absorbido principalmente en forma de  $Zn^{2+}$  o, en condiciones de pH alto, como  $ZnOH^+$ . La disponibilidad de zinc disminuye al aumentar el pH, especialmente por encima de 7.4, debido a la mayor capacidad de adsorción, la presencia de formas hidrolizadas de zinc y la posible adsorción por carbonato de calcio. Por esta razón, los suelos alcalinos y calcáreos tienden a presentar con mayor frecuencia deficiencias de zinc. La materia orgánica del suelo mejora la disponibilidad de zinc al formar complejos orgánicos móviles que las plantas pueden absorber. Sin embargo, su disponibilidad disminuye con altos niveles de fósforo y cobre. Otros factores que han agravado la deficiencia de zinc incluyen el uso de

fertilizantes más puros, la búsqueda de mayores rendimientos de los cultivos y la falta de inclusión de este micronutriente en los planes de fertilización. Excesos de fósforo reducen la infección de micorrizas, lo que afecta significativamente la absorción de zinc. El hierro y el manganeso en altas concentraciones también inhiben la absorción de zinc, posiblemente debido a la competencia en el sistema de transporte dentro de la planta. Otros factores que afectan la disponibilidad de zinc incluyen la remoción de la capa arable del suelo por nivelación o erosión, y suelos fríos (Cakmak, 2015).

**b. Plomo**

El riesgo ambiental del plomo (Pb) en el suelo está relacionado con su biodisponibilidad, siendo el polvo la principal vía de concentración e ingreso a los organismos. El viento y la actividad humana pueden volver a suspender las partículas de Pb en el aire, que luego se sedimentan en los suelos. La distribución de Pb en el suelo depende de varias propiedades del suelo, como textura, materia orgánica, pH, capacidad de intercambio catiónico, tipo de arcilla y porosidad, así como de las características de los compuestos que contienen Pb.

La recuperación de Pb del suelo requiere tecnologías de remediación adecuadas. Existen diversas tecnologías basadas en procesos biológicos, fisicoquímicos o térmicos para contener, aislar o eliminar contaminantes. Una tecnología innovadora y amigable con el ambiente es la fitorremediación, que utiliza la capacidad de ciertas plantas para acumular, captar, metabolizar, degradar, estabilizar o eliminar contaminantes (Sarmiento & Febres Flores, 2021).

**c. Cobre**

El cobre es un nutriente esencial para los cultivos y es absorbido del suelo en forma de  $\text{Cu}^+$  y  $\text{Cu}^{2+}$ . Su función principal es activar más de 30

diferentes enzimas y participar en la síntesis de vitamina A. La deficiencia de cobre es común en suelos arenosos y orgánicos, aunque su uso para el control de enfermedades normalmente previene estas deficiencias. Sin embargo, el uso excesivo de cobre en la agricultura, especialmente en frutales y viñas, ha llevado a una acumulación rápida y tóxica en el suelo.

### ***Biodisponibilidad y toxicidad del cobre***

El cobre, al ser un metal pesado no degradable, puede permanecer en el suelo durante mucho tiempo. Su acumulación y biodisponibilidad dependen de factores como la textura del suelo, aireación, pH y disponibilidad de agua. Cuando el cobre se vuelve biodisponible, puede ser tóxico para organismos vivos, incluidos microorganismos, aunque muchos desarrollan mecanismos de tolerancia.

Las plantas responden a la toxicidad del cobre con cambios estructurales, bioquímicos y fisiológicos. Los síntomas visibles incluyen reducción del crecimiento, especialmente de las raíces, clorosis y necrosis en las hojas, y eventualmente senescencia y abscisión. En frutales y viñas, la alta concentración de cobre provoca raíces más cortas y gruesas, menor densidad radicular y absorción reducida de nutrientes, afectando la producción de biomasa. A nivel foliar, los síntomas de toxicidad del cobre pueden confundirse con deficiencias de hierro o zinc.

### ***Efectos sobre el microbiota del suelo***

La toxicidad del cobre afecta negativamente la biomasa microbiana y la diversidad filogenética. Desde los años 90, se ha documentado que los metales pesados, especialmente el cobre aplicado como caldo bordelés, reducen la biomasa microbiana. Altas concentraciones de cobre (1000 mg/kg) reducen la biomasa microbiana y la producción de

micelio en hongos. No obstante, algunos estudios muestran que la adición de cobre a ciertos suelos puede aumentar la población de hongos, pero disminuir su diversidad, favoreciendo géneros como *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium*.

#### ***Inhibición de la respiración del suelo***

La respiración microbiana del suelo se ve negativamente afectada por altas concentraciones de iones  $\text{Cu}^{2+}$ . Estudios han demostrado que el cobre reduce drásticamente la tasa respiratoria aeróbica del suelo. La adición de cobre afecta directamente las membranas celulares de los microorganismos o se combina con la materia orgánica, haciéndola menos disponible para la producción de energía, lo que favorece la muerte de los microorganismos.

Esta información subraya la importancia de manejar adecuadamente el uso de cobre en la agricultura para evitar su acumulación tóxica en el suelo y proteger tanto la salud de las plantas como la biodiversidad del suelo (Ortega Blu & Martínez, 2020).

#### **d. Cadmio**

El cadmio (Cd) es absorbido por las plantas mayormente en su forma iónica  $\text{Cd}^{2+}$ , ya que sus formas queladas no suelen estar disponibles para ser captadas por las raíces. El primer punto de contacto es la capa de células epidérmicas, especialmente los pelos radicales, que juegan un papel clave en la captación del Cd desde el suelo.

Se han identificado tres rutas principales por las cuales el Cd puede ingresar a la raíz:

Intercambio iónico con  $\text{H}^+$ : En la superficie de las células epidérmicas de la raíz, el dióxido de carbono disuelto se convierte en  $\text{H}^+$  y  $\text{HCO}_3^-$  como producto de la respiración. El  $\text{H}^+$  se intercambia con el  $\text{Cd}^{2+}$  del suelo, permitiendo que el metal se adhiera rápidamente a las paredes

celulares sin necesidad de energía. Esta adhesión inicial antecede a la entrada del Cd a través del espacio apoplástico.

Transporte a través de proteínas de metales esenciales: Como el Cd no es un nutriente esencial, las plantas no tienen transportadores específicos para él. Sin embargo, puede entrar usando las proteínas transportadoras de otros metales esenciales como  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  y  $\text{Ca}^{2+}$  (por ejemplo, IRT1 y LCT1). Una vez asociado con estas proteínas, el Cd accede al interior celular por la vía simplástica.

Complejos con compuestos exudados por las raíces: Las raíces liberan compuestos orgánicos de bajo peso molecular, como los ácidos mugineicos, que pueden formar complejos con  $\text{Cd}^{2+}$ . Estos complejos ingresan por proteínas transportadoras tipo YSL, facilitando así la absorción del Cd en forma quelada.

### ***Transporte interno del Cd***

Una vez dentro de la planta, el movimiento del Cd hacia el tallo se regula por tres mecanismos:

- El almacenamiento o secuestro del Cd dentro de las células de la raíz,
- El transporte hacia los tejidos vasculares, y
- La liberación hacia el xilema.

Este proceso se ve limitado por barreras estructurales y por la capacidad de la planta de quelar el metal mediante compuestos como fitoquelatinas o glutatión, que lo inmovilizan en vacuolas. Otro mecanismo defensivo es el depósito de suberina en las paredes celulares, lo que refuerza la raíz y restringe el movimiento del Cd hacia el interior.

Además, el Cd puede ser redistribuido a través del floema. Se ha observado la presencia de complejos Cd-fitoquelatina y Cd-glutatión en

la savia del floema de *Brassica napus*, lo que indica que esta vía también participa en su transporte.

#### **E. Capacidad de Depuración de los Suelos**

Galan Huertos & Romero Baena (2008), el suelo funciona como una barrera protectora, desempeñando un papel crucial en la filtración, descomposición, neutralización y almacenamiento de contaminantes, lo que reduce su biodisponibilidad y protege los medios más sensibles, como los acuáticos y biológicos. Esta capacidad depuradora del suelo está influenciada por varios factores, incluyendo su contenido de materia orgánica, carbonatos, oxihidróxidos de hierro y manganeso, el tipo y cantidad de minerales de arcilla, la capacidad de intercambio catiónico, el pH, el potencial redox (Eh), la textura, la permeabilidad y la actividad microbiana.

Cada suelo tiene un límite en su capacidad de depuración. Cuando la concentración de contaminantes supera este límite, el suelo comienza a funcionar como una fuente de contaminación en lugar de un filtro. El "poder amortiguador" de un suelo se refiere a su capacidad para mitigar los efectos negativos de los contaminantes y transformarlos en formas menos dañinas o inactivas.

En el contexto de suelos agrícolas, se utiliza el concepto de "Capacidad de Carga para Metales Pesados" (LCASHM: Load Capacity of Agricultural Soils for Heavy Metals), que evalúa la habilidad del suelo para manejar metales pesados sin sufrir efectos negativos significativos. Esta capacidad depende de las propiedades específicas del suelo, el tipo y la historia de la contaminación, los organismos indicativos de toxicidad y otros factores ambientales.

Los mecanismos de amortiguación del suelo incluyen procesos como neutralización, degradación biológica o química, precipitación y disolución, reacciones de oxidación y reducción, formación de complejos orgánicos e

insolubilización. La cantidad máxima de un contaminante que un suelo puede manejar antes de que empiece a liberar cantidades tóxicas se conoce como la "carga crítica". Esta carga crítica indica el umbral a partir del cual los contaminantes se vuelven biodisponibles en niveles que pueden ser perjudiciales. Por ejemplo, la LCASHM para algunos metales pesados se define como: para el cadmio (Cd) entre 23 y 87 g/ha/año, para el plomo (Pb) entre 6750 y 10125 g/ha/año, y para el arsénico (As) entre 450 y 675 g/ha/año.

**a. Biorremediación In Situ** La biorremediación in situ incluye cuatro métodos principales: atenuación natural, bioventeo, bioestimulación y bioaumentación.

**b. Atenuación Natural**

Este proceso ocurre de manera espontánea en el medio ambiente, sin intervención humana, y depende de factores físicos, químicos y biológicos que, en condiciones favorables, ayudan a reducir la cantidad, toxicidad o concentración de los contaminantes en el suelo o el agua.

**c. Bioventeo**

Esta técnica implica la introducción controlada de aire y a veces nutrientes al suelo contaminado mediante una red de tuberías. El objetivo es proporcionar una cantidad moderada de aire para fomentar la actividad de los microorganismos aeróbicos que descomponen los contaminantes, al mismo tiempo que se minimiza la liberación de contaminantes al aire.

**d. Bioestimulación**

Similar al bioventeo, esta estrategia se enfoca en mejorar la actividad de los microorganismos presentes en el suelo al añadir nutrientes, oxígeno, surfactantes o agua, o al ajustar otras condiciones ambientales. No obstante, su eficacia puede verse limitada si los

microorganismos presentes no son adecuados para degradar los contaminantes o si la concentración de estos es muy alta.

**e. Bioaugmentación**

Consiste en la adición de microorganismos al suelo contaminado para acelerar la biorremediación. Esto puede hacerse mediante la adición de microorganismos aislados y cultivados previamente, la introducción de microorganismos eliminados del entorno o el uso de microorganismos genéticamente modificados.

**F. Fitorremediación**

En la sociedad actual, una de las principales características es el aumento en la liberación de contaminantes en el ambiente, provenientes de diversas actividades como la industria, minería, agricultura, artesanía y actividades domésticas. Estos contaminantes representan un grave riesgo para los seres vivos, lo que ha llevado al desarrollo de métodos para mitigar sus efectos. Sin embargo, los métodos tradicionales de tratamiento suelen ser costosos y pueden provocar daños irreparables en el suelo, agua y organismos (Padmavathiamma & Li, 2007).

La necesidad de soluciones más económicas y efectivas ha impulsado el avance hacia nuevas tecnologías. En este contexto, la fitorremediación se presenta como una alternativa sostenible y de bajo costo para la recuperación de ambientes contaminados por sustancias tanto naturales como provocadas por el ser humano (Singh & Jain, 2003).

La fitorremediación es una técnica que utiliza plantas y microorganismos asociados para reducir la concentración de contaminantes en el suelo o agua. Este proceso puede ocurrir in situ (en el lugar de contaminación) o ex situ (fuera del lugar contaminado) y puede involucrar la remoción, reducción, transformación, mineralización, degradación, volatilización o estabilización de los contaminantes (Kelley, Gaither, Baca Spry, & Cruickshank, 2000).

Existen muchas especies de plantas empleadas en fitorremediación, algunas de las cuales se destacan por su capacidad para acumular metales pesados y son conocidas como hiperacumuladoras. Estas plantas deben acumular concentraciones específicas de metales pesados para ser consideradas efectivas. Por ejemplo, deben acumular al menos 100 µg/g de cadmio (Cd) y arsénico (As), 1000 µg/g de cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), níquel (Ni) y plomo (Pb), y 10,000 µg/g de manganeso (Mn) (Watanabe, 1997).

La fitorremediación se puede optimizar mediante manipulación genética, mejorando la capacidad de las plantas para tratar contaminantes. Se han desarrollado plantas genéticamente modificadas (GM) con habilidades aumentadas para degradar contaminantes orgánicos o acumular metales pesados, como cadmio (Cd), mercurio (Hg) y bifenilos policlorados (PCBs) (Macek, y otros, 2007).

Hay diversas metodologías de fitorremediación que se pueden utilizar para tratar suelos contaminados con metales pesados, entre las cuales se incluyen:

**a. Fitoacumulación**

La fitoacumulación es un proceso clave en la biorremediación vegetal, donde las plantas absorben contaminantes presentes en el suelo y los acumulan en sus partes aéreas, como hojas y tallos. Posteriormente, estas partes contaminadas de la planta son retiradas y desechadas, eliminando así los contaminantes del entorno del suelo (Ramos, 2015).

**b. Fitovolatilización**

La fitovolatilización se refiere al proceso mediante el cual las plantas, después de haber acumulado contaminantes, los liberan a la atmósfera. Esta técnica permite que los contaminantes almacenados en la planta se evaporen y se disipen en el aire (Ramos, 2015).

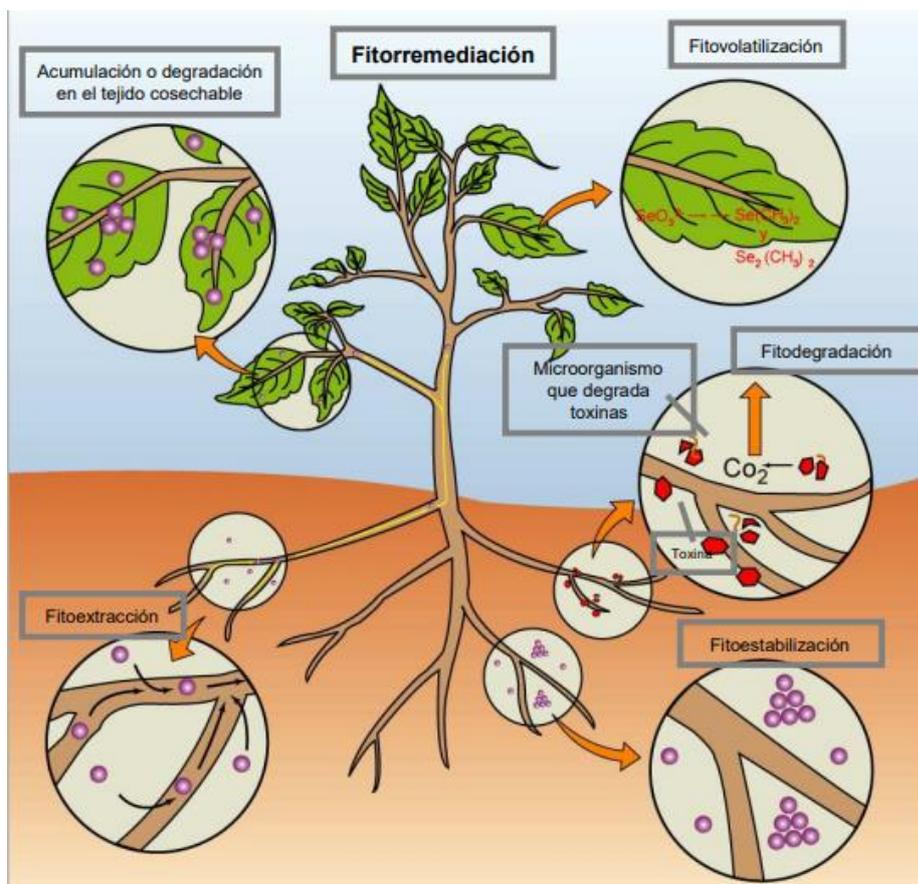
**c. Fitodegradación**

La fitodegradación implica la transformación y destrucción de contaminantes orgánicos, como hidrocarburos, explosivos y agroquímicos, a través de su absorción por la planta. Una vez dentro de la planta, estos contaminantes son metabolizados y degradados, reduciendo su toxicidad y presencia en el medio ambiente (Muñoz-Castellanos et al., 2010).

**d. Fitoestabilización**

También conocida como fito-inmovilización o inactivación in situ, la fitoestabilización ocurre cuando las plantas alteran las propiedades químicas y físicas del suelo para reducir la movilidad y la disponibilidad de los contaminantes. En este proceso, los contaminantes son capturados y retenidos en las raíces de las plantas, limitando su transferencia a otras partes del suelo o al entorno (Torres Gonzales et al., 2021).

**Ilustración 2:** Proceso de fitorremediación en suelos (Garrido Asenjo, 2022)



### 2.2.2. Características de la planta nativa *Rumex peruanus* Rech.fil (Putaq)

Es una planta muy valorada en los andes peruanos y la conocen como la "madre del agua", "cuidadora del agua", "llamadora del agua". Es sembrado alrededor de los manantes o "puquiales", permitiendo el incremento del caudal del agua y son capaces de acumular altas concentraciones de plomo en sus raíces.

#### A. Familia Apiaceae

La familia Apiaceae, conocida anteriormente como umbelíferas, incluye diversas hierbas y algunos arbustos. Esta denominación antigua aún se utiliza debido a la prioridad taxonómica. Las plantas de esta familia generalmente presentan un tallo alargado y hueco en su interior. Sus hojas son alternas, usualmente con una vaina grande que abraza el tallo, y

pueden ser enteras, divididas, gramínoideas o frecuentemente recortadas. Estas plantas suelen contener resinas y alcaloides, siendo más abundantes en terrenos secos y húmedos, respectivamente.

**Ilustración 3:** Tallo de la planta nativa *Rumex peruanus* Rech.fil (Putaqá)



Las flores de la familia Apiaceae son típicamente hermafroditas y actinomorfas. El cáliz cuenta con cinco sépalos pequeños o ausentes, y la corola tiene cinco pétalos, a menudo lobulados. El androceo consta de cinco estambres, mientras que el gineceo es bicarpelar e ínfero, con dos estilos que se ensanchan en la base formando un estilopodio, creando así un disco. Los carpelos presentan una comisura y un dorso, que puede estar ornamentado.

**Ilustración 4:** planta nativa *Rumex peruanus* Rech.fil (Putaqqa)



**B. Cultivo**

El cultivo de esta planta es sencillo, y en los huertos se recolecta principalmente en primavera.

**C. Taxonomía**

*Rumex acetosa* fue descrita por Carlos Linneo y publicada en *Species Plantarum*.

**D. Rango de distribución altitudinal**

- 4160 msnm

**E. Región biogeográfica**

- Andes

**F. Distribución Global**

- Colombia, Ecuador y Perú

### **2.3. Definición de términos básicos**

#### **Absorción**

Es el proceso por el cual una sustancia tóxica atraviesa las membranas celulares de un organismo a través de la piel, pulmones, tracto digestivo o branquias, y se distribuye hacia otros órganos.

#### **Áreas de Influencia**

Se refiere al perímetro cercano al lugar de estudio donde hay indicios o evidencia de una posible contaminación del suelo.

#### **Área de Potencial Interés**

Es el área delimitada donde se realizarán las actividades de muestreo, identificada durante la Fase de Identificación, que muestra indicios de posible contaminación del suelo.

#### **Bioacumulación**

Es la acumulación de contaminantes en el medio ambiente o en los tejidos de los organismos debido a su incorporación, distribución y eliminación a través de diversas vías de exposición como el aire, agua, suelo, sedimentos y alimentos.

#### **Biodisponibilidad**

Hace referencia a la facilidad con la que las sustancias tóxicas pueden ser absorbidas por los seres vivos mediante mecanismos como inhalación, ingestión o absorción. Esta capacidad se ve influenciada por diversos factores, como las rutas de exposición, las características fisiológicas del organismo receptor y las propiedades químicas del contaminante.

#### **Caracterización de Sitios Contaminados**

Proceso que incluye la determinación cualitativa y cuantitativa de los contaminantes químicos o biológicos presentes en una zona, derivados de materiales o residuos peligrosos, con el objetivo de evaluar los riesgos y la magnitud de la contaminación.

### **Calidad de Suelos**

Es la capacidad natural del suelo para realizar diversas funciones, como las ecológicas, agronómicas, económicas, culturales, arqueológicas y recreacionales. Esta capacidad se evalúa según las características físicas, químicas y biológicas del suelo, las cuales determinan su aptitud para sustentar ecosistemas naturales o actividades humanas.

### **Concentración**

Se refiere a la proporción de una sustancia disuelta o presente en una cantidad específica de otra sustancia.

### **Contaminación**

Es la presencia de una sustancia química o una mezcla de sustancias en un medio donde no es deseada (aire, agua, suelo), que puede tener efectos adversos sobre el medio ambiente o la salud.

### **Contaminante**

Cualquier sustancia química que no pertenece a la composición natural del suelo o cuya concentración excede los niveles de fondo, y que puede causar efectos nocivos sobre la salud o el medio ambiente.

### **Estándar de Calidad Ambiental (ECA)**

Es la norma que establece los niveles aceptables de concentración o grado de sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos en el aire, agua o suelo. Estos valores no deben representar riesgos significativos para la salud humana o el ambiente.

### **Fitorremediación**

Técnica que utiliza plantas y microorganismos asociados para reducir, en el sitio o fuera de él, la concentración de contaminantes a través de procesos bioquímicos. (Kelley et al., 2000, citado por Muñoz-Castellanos et al., 2010)

### **Metales Pesados**

Son elementos metálicos con una densidad superior a 5 g/cm<sup>3</sup> o con un número atómico mayor a 20. En términos ambientales, se consideran metales pesados aquellos cuya toxicidad y persistencia los convierten en contaminantes. (García et al., 2002)

### **Muestra Simple**

Se refiere a las muestras obtenidas en un lugar y tiempo determinados. Estas reflejan las condiciones del entorno en el momento de la recolección y se emplean principalmente para el análisis de compuestos orgánicos volátiles (COVs), hidrocarburos y BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno).

### **Niveles de Contaminación en el Suelo**

Según Martell (2014), el nivel de contaminación del suelo puede ser un factor limitante en los procesos de fitorremediación. Si la concentración de contaminantes es alta, el crecimiento de las plantas se ve afectado. Por ejemplo, en suelos con niveles elevados de plomo (Pb), la longitud de las raíces y brotes de plantas disminuye.

### **Remediación**

Conjunto de actividades diseñadas para eliminar o reducir los contaminantes en un área afectada, con el fin de proteger la salud humana y preservar la integridad de los ecosistemas.

### **Suelo**

Es un recurso natural no renovable en escalas de tiempo humano. (García et al., 2002)

### **Suelo Contaminado**

Suelo cuyas propiedades químicas han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias contaminantes generadas por la actividad humana, según el D.S. N° 002-2013-MINAM. (MINAM, 2016))

## **2.4. Formulación de hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

La planta Rumex peruanus (Putaqqa) tiene la capacidad de absorber y reducir significativamente la concentración de metales pesados en suelos degradados del distrito de Yanacancha.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

- a. La aplicación de Rumex peruanus disminuye los niveles de cadmio (Cd), plomo (Pb), cobre (Cu), zinc (Zn) y Manganeseo (Mn) presentes en suelos contaminados del distrito de Yanacancha.
- b. La eficiencia de fitorremediación de Rumex peruanus varía según el tiempo de exposición y la concentración inicial de metales pesados en el suelo.

## **2.5. Identificación de las variables**

### **2.5.1. Variable independiente**

Fitorremediación con Rumex peruanus

### **2.5.2. Variable dependiente**

Nivel de metales pesados en el suelo

## **2.6. Definición Operacional de variables e indicadores.**

En la Tabla 3, se operacionalizó las variables de estudio, con el fin de hallar los objetivos de la presente investigación.

**Tabla 2** Matriz de operacionalización de las variables

Variable	Tipo	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores
Fitorremediación con <i>Rumex peruanus</i>	Independiente	Uso de plantas para remover, degradar o estabilizar contaminantes en el suelo.	Aplicación de <i>Rumex peruanus</i> en parcelas contaminadas con metales pesados durante un periodo determinado.	- Tiempo de exposición - Densidad de plantación - Tipo de suelo
Nivel de metales pesados en el suelo	Dependiente	Cantidad de elementos tóxicos como Cd, Pb o Zn presentes en el suelo.	Concentración de Cd, Pb, Zn en muestras de suelo analizadas antes y después del tratamiento.	- Concentración de Cd, Pb, Zn (mg/kg) - Reducción porcentual

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION**

#### **3.1. Tipo de Investigación**

El estudio realizado es de tipo experimental y transversal. Es experimental porque se llevó a cabo en el laboratorio de Aguas y Suelos pertenecientes al Instituto de Investigación de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, donde se analizaron muestras de la planta nativa *Rumex peruanus* Rech.fil (Putaqá) para determinar el nivel de metales pesados en sus hojas, tallos y raíces. Es transversal porque las muestras de la planta se recolectaron una sola vez en toda el área identificada de la zona urbana de San Juan Pampa del distrito de Yanacancha-Pasco.

#### **3.2. Nivel de Investigación**

La presente investigación es de un nivel exploratoria, es un método utilizado para examinar problemas poco claros y obtener una mejor comprensión sobre la absorción a metales pesados en la planta nativa *Rumex peruanus* Rech.fil (Putaqá), de ellos. Este tipo de investigación es flexible y requiere que el investigador sea paciente y abierto a riesgos. Se emplea en etapas preliminares para responder preguntas como qué, por qué y cómo, y suele ser referida como enfoque de teoría fundamentada o investigación interpretativa. Su

objetivo principal es generar hipótesis que sirvan de base para estudios más profundos que ofrezcan resultados y conclusiones definitivas.

### **3.3. Métodos de investigación**

El enfoque de la investigación fue el hipotético-deductivo, ya que se probó la hipótesis aplicando principios generales a casos específicos. Dentro del método científico general, se empleó un método específico descriptivo y analítico. Esto implica analizar las variables e indicadores de la matriz de operacionalización, centrándose en los niveles de metales pesados en la especie estudiada.

El proceso de investigación constará de tres etapas:

#### **A. Trabajo de Gabinete**

Se recopiló información sobre la planta nativa *Rumex peruanus* Rech.fil (Putaq) mediante la revisión de artículos y tesis relacionadas con el tema.

#### **B. Trabajo de Campo**

Se identificó y georreferenciarán las zonas donde crece la planta *Rumex peruanus* Rech.fil (Putaq). Se recolectaron muestras de hojas, tallos y raíces en la ciudad de San Juan Pampa, siguiendo los protocolos de toma de muestras establecidos por el Ministerio del Ambiente. Estas muestras serán recolectadas de las áreas focalizadas en toda la localidad para su posterior análisis químico según los protocolos del laboratorio.

#### **C. Laboratorio**

El análisis en el laboratorio se realizó en los laboratorios del Instituto de Investigación de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, utilizando métodos desarrollados y estandarizados científicamente, principalmente el sistema de la AOAC (Official Methods of Analysis), una publicación de la AOAC International.

### **3.4. Diseño de investigación**

El diseño de la investigación es no experimental, lo que significa que no se manipularán las variables estudiadas. El objetivo de este estudio es observar los fenómenos en su contexto natural y analizarlos posteriormente. Las investigaciones no experimentales pueden ser longitudinales o transversales; en este caso, se utilizará un diseño no experimental longitudinal ya que este diseño de investigación implica estudiar y evaluar a planta *Rumex peruanus* Rech.fil (Putaqá) durante un período determinado de su adaptabilidad (Cortés e Iglesias, 2004).

### **3.5. Población y muestra**

Para esta investigación se utiliza el muestreo No Probabilístico (no estadístico y no paramétrico) porque la población es muy reducida y es posible el manejo de los datos obtenidos.

#### **3.5.1. Población**

Población de estudio estará compuesta por:

Las plantas nativas *Rumex peruanus* Rech.fil (Putaqá), en crecimiento en el área urbana de la ciudad de San Juan Pampa en el distrito de Yanacancha, ciudad de Cerro de Pasco.

#### **3.5.2. Muestra**

Se realizó un muestreo no probabilístico es el muestreo por conveniencia es una técnica de muestreo y no aleatorio que se utilizó para formar muestras basándose en la facilidad de acceso y la disponibilidad de las plantas nativas *Rumex peruanus* Rech.fil (Putaqá) para evaluar sobre la absorción de metales pesados en un intervalo de tiempo específico u otras consideraciones prácticas, la cantidad de muestra será 13.

**Tabla 3** Zonas con coordenadas donde se tomarán las muestras

<b>N° de Planta</b>	<b>Coordenadas UTM</b>	<b>Altura</b>	<b>Lugar</b>
P_M01	18L 362841 8821089	4372	Av. Ricardo Palma #310 - Yanacancha
P_M02	18L 362840 8821087	4372	Av. Ricardo Palma #310 - Yanacancha
P_M03	18L 362836 8821096	4373	Av. Ricardo Palma #310 - Yanacancha
P_M04	18L 362839 8820502	4371	Av. Ricardo Palma #310 - Yanacancha
P_M05	18L 362899 8821161	4372	Jr. Carlos Augusto Salaverry
P_M06	18L 362478 8821059	4383	R. Progreso N°405- Yanacancha
P_M07	18L 362479 8821055	4386	R. Progreso N°405- Yanacancha
P_M08	18L 362493 8821087	4389	8PQV+27W- Cerro de Pasco
P_M09	18L 362590 8821092	4381	Psj. Gerardo Patiño
P_M010	18L 362924 8820497	4348	Parque Comerio - Yanacancha
P_M011	18L 362976 8820539	4353	Parque Comerio - Yanacancha
P_M012	18L 363679 8818067	4341	Av. 9 de Enero - Chaupimarca
P_M013	18L 363663 8818067	4339	Av. 9 de Enero - Chaupimarca

### **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Las técnicas son procedimientos esenciales para la recopilación de información que permitió a los investigadores acercarse a los hechos y obtener conocimientos. En este estudio, se utilizó la técnica de investigación analítica de laboratorio. Los instrumentos son herramientas que permiten obtener evidencia y, cuando se expresan en unidades de medida, se refieren a instrumentos científicos.

#### **A. Trabajo de Campo**

Las técnicas e instrumentos de recolección de datos en campo incluyen:

##### **a. Visitas de Campo**

Se realizó visitas a las zonas donde hay presencia de las plantas nativas *Rumex peruanus* Rech.fil (Putaqá) para identificar y recolectar las muestras a evaluar.

##### **b. Instrumentos**

- GPS
- Fichas de Observación.
- Cámara Fotográfica
- Bolsas de papel para toma de muestra

#### **B. Trabajos de laboratorio**

Los trabajos de laboratorio, se realizaron en el “Laboratorio de Análisis de Aguas y Suelos” del Instituto Central de Investigación Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

### **3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.**

#### **A. Procedimiento de Selección.**

La selección de la recolección de información fue de antecedentes nacionales e internacionales.

#### **B. Procedimiento de validación.**

Una vez obtenido los resultados por el laboratorio de “Análisis de Aguas y Suelos” del Instituto Central de Investigación Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión se procedió a dar la validación de resultados siendo positivo.

#### **C. Procedimiento de confiabilidad de los instrumentos de investigación.**

Para la confiabilidad de instrumentos se verifico el proceso de monitoreo de las plantas nativas Rumex peruanus Rech.fil (Putaqá) y los análisis lo cual cumple con los protocolos de monitoreo y análisis del laboratorio.

### **3.8. Técnicas de procesamientos y análisis de datos**

La recolección de datos se realizó en los formatos preparados para el estudio de puntos de muestreo donde hay presencia de las plantas nativas Rumex peruanus Rech.fil (Putaqá) y teniendo como variable principal los niveles de metales pesados

### **3.9. Tratamiento Estadístico**

Los datos son evaluados de la forma descriptiva para encontrar los estadísticos, luego se realizó la evaluación estadística mediante inferencias

### **3.10. Orientación ética filosófica y epistémica**

Este trabajo se realizó conforme al código de ética, específicamente el artículo 4, capítulo 9, inciso a, que enfatiza la protección del ambiente, la diversidad biológica, los recursos genéticos y los procesos ecológicos ante cualquier impacto negativo derivado de actividades de investigación.

#### **A. Autores:**

Bach. José Luis Valerio Jara

Bach. Nayely Kimberly Herrera Chamorro

#### **B. Originalidad**

En la formulación del proyecto, se han citado todos los textos mencionados, asegurando que la investigación se realice correctamente. Las referencias

bibliográficas han sido incluidas respetando a los autores y citadas fielmente en la bibliografía, sin alterar su contenido.

**C. Reconocimiento de Fuentes**

Las fuentes de los diferentes autores han sido citadas en la bibliografía sin modificaciones, siguiendo el formato APA, 7ª edición.

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

El estudio del análisis de adaptabilidad y acumulación de metales pesados en *Rumex peruanus* Rech.fil. (Putaqá) abarca varias etapas cruciales de trabajo de campo y laboratorio, diseñadas para evaluar cómo esta planta se adapta y acumula metales en un ambiente natural o controlado. Inicialmente, el trabajo de campo comienza con la selección de sitios de muestreo, que deben representar variaciones en la contaminación por metales pesados. Se realizó un mapeo detallado del área para asegurar la representatividad de las muestras y se recogen datos sobre las condiciones ambientales, como el tipo de suelo, pH y otros contaminantes presentes. Las muestras de plantas se recolectan sistemáticamente junto con muestras de suelo de la zona de hojas para análisis comparativos.

Una vez en el laboratorio, las muestras recolectadas pasan por una preparación rigurosa que incluye el lavado, secado y molido de las partes de la planta.

***Ilustración 5: Secado de la muestra***



***Ilustración 6: Parte de la flor de la Putaqa seca***



**Ilustración 7. Hojas secas Putaqa**



Se utilizan técnicas como la para determinar las concentraciones de metales pesados en las muestras de suelo y planta. Este proceso requiere calibraciones cuidadosas y el uso de estándares para asegurar la precisión de los resultados.

**Ilustración 8: Tallos secos de la Putaqa**



**Ilustración 9:** Con el equipo de absorción atómica para las muestras de medición de metales pesados



También se realizó una evaluación de los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz para la fotosíntesis, por lo que se puede afirmar sin lugar a dudas que los pigmentos fotosintéticos son fundamentales para la vida de la planta en el planeta Tierra. Estas sustancias tienen la capacidad de captar energía lumínica y convertirla en energía química a través de la fotosíntesis. Sin embargo, la captación de energía para la fotosíntesis no es su única función en las plantas. Los pigmentos fotosintéticos comprenden una gran variedad de sustancias que se diferencian en su biogénesis, composición y estructura molecular, lo cual les otorga diversas propiedades. Por ejemplo, los diferentes tipos de clorofilas presentes en distintos organismos fotosintéticos tienen pequeñas variaciones que, desde su aparición, han influido en su capacidad para aprovechar la energía lumínica en diversos entornos.

Además, se realizaron análisis bioquímicos para evaluar la respuesta fisiológica de la planta a la presencia de metales, como cambios en la producción de pigmentos fotosintéticos y estrés oxidativo.

**Figura 2** Fisiología de la especie *Rumex peruanus*



Entre todos los factores ambientales que influyen en las plantas, la luz es probablemente el que presenta la mayor variabilidad en espacio y tiempo. En una formación vegetal densa de la Putaqa, las hojas se superponen en capas, creando sombras unas sobre otras. La luz es absorbida rápidamente por las hojas superiores, y sólo una pequeña fracción (1 a 2% de la luz incidente) llega a las capas inferiores. Esta luz que llega es no solo menos intensa, sino también modificada en su composición espectral, ya que las longitudes de onda absorbidas en las capas superiores están menos presentes, mientras que las longitudes de onda que atraviesan el dosel están más concentradas. Esta distribución desigual de la luz afecta directamente la composición pigmentaria de las plantas.

**Figura 3** Desarrollo de la especie *Rumex peruanus*



La tabla 2 presenta datos de la absorción de cadmio (Cd) en hojas viejas y secas de la planta, basada en incrementos controlados de concentración en el sustrato. Se observa que a medida que aumenta la concentración de Cd en el tratamiento (de 0 a 100 mg/L), también lo hace su acumulación en el tejido foliar, alcanzando niveles entre 150 y 250 mg/kg de materia seca (DM) en hojas viejas y hasta 250 mg/kg en hojas secas, lo cual confirma una marcada capacidad de bioacumulación. La biomasa seca disminuye ligeramente en concentraciones más altas, lo que sugiere una posible respuesta adaptativa al estrés por metal. El Cd total absorbido por hoja también se incrementa de forma significativa, pasando de niveles prácticamente nulos en el control (0.0025 mg) a valores entre 0.30 y 0.50 mg en los tratamientos más intensivos.

**Tabla 2** Acumulación de Cd en la planta *Rumex peruanus* Rech.fil. (Putaqá)

Tratamiento Cd (mg/L)	Tipo de hoja	Biomasa seca (g)	Cd acumulado (mg/kg DM)	Cd total absorbido (mg)
0 (control)	Vieja	2.5	1 – 5	0.0025 – 0.0125
20	Vieja	2.6	50 – 100	0.13 – 0.26
50	Vieja	2.9	100 – 150	0.29 – 0.435
100	Vieja	2	150 – 250	0.30 – 0.50
100	Seca	1.7	200 – 250	0.34 – 0.425

Nota: Cd acumulado (mg/kg DM) hasta 250 mg/kg en hojas secas.  
Cd total absorbido = Cd acumulado x biomasa seca / 1000.

La tabla muestra el comportamiento de la planta frente a tratamientos progresivos con Plomo (Pb), evaluando la acumulación en hojas viejas y secas. Los resultados indican que, a medida que se incrementa la concentración de Pb en el sustrato (de 0 a 1000 mg/L), la acumulación en tejido foliar aumenta de forma significativa, alcanzando niveles entre 1500 y 2000 mg/kg de materia seca (DM) en hojas viejas y hasta 2000 mg/kg en hojas secas. Este comportamiento refleja una alta capacidad de adaptación de la especie al estrés por metales pesados, destacándose su eficiencia en la translocación del Pb hacia los órganos aéreos. Asimismo, el contenido total de Pb absorbido por hoja asciende drásticamente desde un rango mínimo de 0.0025–0.025 mg en el control hasta un máximo de 4.80 mg, lo cual demuestra un proceso de bioacumulación altamente eficiente. La ligera reducción de biomasa seca en concentraciones más elevadas puede interpretarse como una respuesta fisiológica de tolerancia adaptativa.

**Tabla 3** Acumulación de Pb en la planta *Rumex peruanus* Rech.fil. (Putaqá)

Tratamiento Pb (mg/L)	Tipo de hoja	Biomasa seca (g)	Pb acumulado (mg/kg DM)	Pb total absorbido (mg)
0 (control)	Vieja	2.5	1 – 10	0.0025 – 0.025
200	Vieja	2.7	300 – 800	0.81 – 2.16
500	Vieja	2.5	1000 – 1500	2.50 – 3.75
1000	Vieja	2.4	1500 – 2000	3.60 – 4.80
1000	Seca	1.8	1800 – 2000	3.24 – 3.60

Nota: Pb total absorbido = (Pb acumulado en mg/kg) x (biomasa seca en g) ÷ 1000.  
Valores de biomasa seca y acumulación de Pb, el estudio reportó hasta 2000 mg/kg en hojas secas).

Para determinar la concentración de Plomo (Pb) en las hojas de la planta *Rumex peruanus* Rech.fil. (Putaq), las universidades e instituciones académicas suelen emplear una combinación de reactivos químicos, instrumentos de secado, pesada y equipos analíticos basados en la espectroscopía de absorción atómica (AAS) es un método analítico utilizado para determinar la cantidad de un elemento específico en una muestra. Funciona midiendo cómo los átomos del elemento absorben una determinada longitud de onda de luz, lo que permite cuantificar su presencia con precisión. A continuación, se describen los principales materiales, instrumentos y procedimientos utilizados:

**Tabla 4 Instrumentos y equipos utilizados**

<b>Instrumento</b>	<b>Finalidad técnica</b>
Estufa de secado (60–70 °C)	Secado de las hojas para obtener peso constante antes del análisis
Horno de calcinación (mufla)	Opcionalmente usado para oxidar la materia orgánica antes de la digestión ácida
Balanza analítica ( $\pm 0.0001$ g)	Determinación precisa de biomasa seca de las hojas
Microscopio estereoscópico	Inspección visual de tejidos (opcional en análisis complementarios)
Centrífuga	En caso de separación de fases antes de lectura espectrométrica
Vasos de digestión o tubos de Teflón (PTFE)	Resistencia química para la digestión con ácidos
Sistema de digestión por microondas	Método moderno y rápido para descomposición de muestras

**Tabla 5 Equipos de análisis espectrométrico**

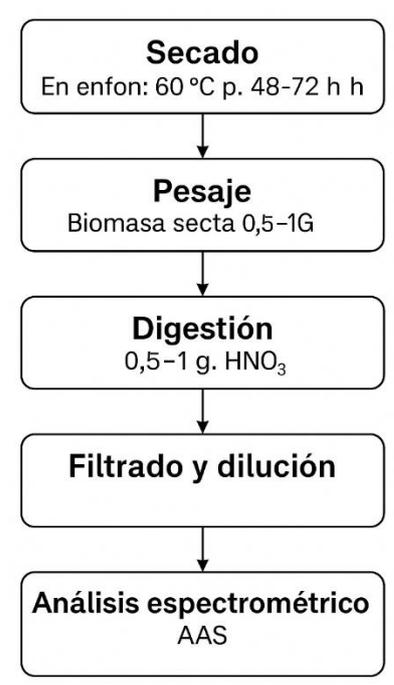
<b>Equipo</b>	<b>Principio de funcionamiento</b>	<b>Aplicación específica</b>
AAS (La espectroscopía de Absorción Atómica)	Absorción de luz por átomos libres	Cuantificación directa de Pb tras digestión

### **Procedimiento**

- Secado: Las hojas de *Rumex peruanus* se secan en estufa (60 °C por 48–72 horas) hasta peso constante.
- Pesaje: Se determina la biomasa seca con una balanza analítica.

- **Digestión:** Se colocan 0.5–1 g de muestra en tubos resistentes, y se digieren con  $\text{HNO}_3$  concentrado (y opcionalmente  $\text{HCl}$ ) en un bloque calefactor o sistema de microondas.
- **Filtrado y dilución:** Tras enfriar, se filtra la solución y se lleva a volumen con agua desionizada.
- **Análisis:** La muestra digerida se analiza con AAS, MP-AES o ICP-OES para determinar la concentración de plomo (expresada en mg/kg de materia seca).
- **Calibración y control de calidad:** Se utilizan patrones de Pb y materiales de referencia certificados para validar la precisión del análisis.

**Figura 4** Análisis de plomo en hojas de *Rumex peruanus*



**Figura 5** Análisis de la planta *Rumex peruanus* Rech.fil. (Putaqá)



#### 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.

Estos resultados proporcionan una visión clara del comportamiento de *Rumex peruanus* en presencia de altas concentraciones de zinc y manganeso, destacando su potencial para su uso en tecnologías de restauración ambiental y fitorremediación.

**Tabla 6** Resultados del estudio *Rumex hydrolapathum*

Parámetro evaluado	Resultados del estudio
Concentración de Zn en hojas	Hasta 1840 mg/kg en hojas viejas
Concentración de Mn en hojas	Hasta 6400 mg/kg en hojas viejas
Respuesta fisiológica a Zn y Mn	Ausencia de cambios significativos en la concentración de clorofila y fluorescencia de clorofila a, lo que indica adaptación a altas concentraciones de metales
Tolerancia a Zn y Mn	La planta muestra adaptación principalmente a nivel fisiológico, con acumulación de metales restringida en hojas jóvenes y raíces y promoción del desarrollo de nuevas hojas
Potencial de fitorremediación	<i>R. peruanus</i> es considerado muy prometedor para estudios adicionales de fitorremediación práctica

Factores de translocación de raíz a vástago para diferentes concentraciones de Zn y Mn en varias hojas de *R. hydrolapathum*

**Tabla 7** Acumulación de metales pesados *R hydrolapathum*

<b>Metal</b>	<b>Concentración g/l</b>	<b>Hojas viejas</b>	<b>Hojas pequeñas</b>	<b>Hojas medianas</b>	<b>Hojas tiernas</b>
Zn	0	1.35	1.24	1.12	1.11
	0.2	2.6	1.52	1.54	0.85
	0.5	2.29	1.64	1.64	0.71
	1	4.6	2	1.95	0.8
Mn	0	5.6	2.73	2.91	1.81
	0.2	10.14	4.73	5.81	2.57
	0.5	8.08	4.71	4.67	2
	1	11	10.7	9.66	5.38

*Nota:* Resultados de la investigación (Gederts levinsh, 2020)

El factor de translocación en plantas es un índice que se usa para evaluar la distribución de metales pesados u otros contaminantes desde las raíces hacia los diferentes órganos vegetativos como sus hojas. Este concepto es clave en la fito-remediación, que es el uso de plantas para eliminar o reducir contaminantes en suelos.

El factor de translocación permite clasificar las plantas según su capacidad para mover los contaminantes hacia las partes aéreas, identificando aquellas especies útiles para la fito-remediación de metales específicos, como resultado tenemos los valores de Zn y Cu, para distintas concentraciones de la planta *Rumex peruanus*

**Tabla 8** Metales pesados en *Rumex peruanus*

Metal	Concentración g/l	Hojas viejas	Hojas pequeñas	Hojas medianas
Zn	0	0.96	0.88	0.80
	0.4	1.85	1.08	1.09
	0.75	1.40	1.00	1.00
	1	2.81	1.22	1.19
Cu	0	0.51	0.47	0.43
	0.4	0.99	0.58	0.59
	0.75	0.48	0.34	0.34
	1	0.97	0.42	0.41

Para validar si la acumulación de metales pesados en la planta *Rumex peruanus* Rech.fil. (Putaq) es significativamente diferente en comparación con *Rumex hydrolapathum*, utilizaremos una prueba t de muestras independientes, solo para el metal de Zn, para los demás valores no es posible porque no tienen características similares o propiedades para poder comparar.

**Tabla 9** Comparación de los resultados *R. hydrolapathum* y *R. peruanus*

Metal	Concentración g/l	Hojas viejas <i>R. hydrolapathum</i>	Metal	Concentración g/l	Hojas viejas <i>R. peruanus</i>
Zn	0	1.35	Zn	0	0.96
	0.2	2.6		0.4	1.85
	0.5	2.29		0.75	1.40
	1	4.6		1	2.81
Mn	0	5.6	Cu	0	0.51
	0.2	10.14		0.4	0.99
	0.5	8.08		0.75	0.48
	1	11		1	0.97

De la tabla se muestra los estadígrafos que comparan ambas plantas y con ello poder determinar el rendimiento de estas plantas para emplear en trabajos de fitorremediación.

**Tabla 10** Prueba de hipótesis de la muestra

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias			
		F	Sig.	T	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias
FT(Zn)	Se asumen varianzas iguales	0.633	0.457	1.209	6	0.272	0.95500
	No se asumen varianzas iguales			1.209	4.808	0.283	0.95500

#### 4.3. Prueba de Hipótesis

La prueba t-Student para muestras independientes se usa para comparar si las medias de dos grupos son significativamente diferentes entre sí.

La hipótesis es:

Hipótesis nula ( $H_0$ ): No hay diferencias significativas en la acumulación de Zn entre *R. peruanus* y *R. hydrolapathum*.

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Hay diferencias significativas en la acumulación de Zn entre *R. peruanus* y *R. hydrolapathum*.

##### Interpretación

Dado que el valor p es mayor que 0.05 (0.272), no se puede rechazar la hipótesis nula, indicando que no hay diferencias estadísticamente significativas en la acumulación de Zn entre las dos especies.

Por lo tanto, la adaptabilidad y acumulación de metales pesados en *Rumex peruanus* no es significativamente diferente en comparación con *Rumex hydrolapathum* para el metal Zinc.

#### 4.4. Discusión de resultados

La investigación sobre el género *Rumex* revela un sistema botánico de notable complejidad y valor científico, tanto por su diversidad morfológica y reproductiva como por su importancia fitoquímica y etnobotánica. A nivel internacional, los estudios recientes de Koenemann, Kistler & Burke (2023) y

Grant (2020) han contribuido significativamente a la comprensión de la evolución filogenética del género, destacando su utilidad como modelo para estudiar la determinación sexual y la evolución de tasas moleculares. Estos estudios han demostrado que *Rumex* presenta una historia evolutiva intrincada, con orígenes que datan del Mioceno y procesos de diversificación posteriores en el Plioceno-Pleistoceno.

La reconstrucción filogenética utilizando marcadores de cloroplasto ha puesto en evidencia que los subgéneros tradicionalmente aceptados, como *Acetosa*, *Acetosella* y *Rumex*, no forman clados monofiléticos, lo que sugiere una necesidad de revisión taxonómica. Asimismo, se ha comprobado que los sistemas reproductivos dentro del género han evolucionado desde una condición hermafrodita (sinecoia) hacia formas más especializadas como la dioecia, pasando por estadios intermedios como la monoecia. Este hallazgo es fundamental para comprender la evolución de los cromosomas sexuales heteromórficos en plantas.

Desde una perspectiva fitoquímica, los estudios enfocados en *Rumex acetosa* han demostrado que factores como la edad y el sexo de la planta influyen significativamente en la concentración de ácido oxálico, un compuesto que, si bien puede tener efectos adversos en grandes cantidades, también posee propiedades beneficiosas como antioxidante. La técnica DART-HRMS ha permitido una evaluación precisa de estos compuestos, abriendo oportunidades para un uso más dirigido y seguro de estas especies.

En el contexto nacional, las investigaciones realizadas en Perú refuerzan y amplían esta perspectiva científica, aportando datos valiosos sobre la presencia, uso y potencial de especies nativas como *Rumex crispus* y *Rumex peruanus*. El trabajo de Sánchez Mori (2019) pone en evidencia que *R. crispus*, conocida como “mala hierba”, es una especie con potencial alimenticio, al ofrecer propiedades funcionales como bajo contenido calórico, buena fuente de

proteínas y fibra, y ausencia de residuos tóxicos, lo que la posiciona como un recurso valioso en la nutrición local.

Por otro lado, el estudio de Pillaca Medina (2006) sobre *Rumex peruanus* muestra una faceta cosmética de la planta, mediante el desarrollo de un champú a partir de sus extractos foliares. La investigación no solo confirma la presencia de una rica variedad de metabolitos secundarios —como flavonoides, taninos, saponinas y triterpenos—, sino que también demuestra la viabilidad de su uso en formulaciones cosméticas seguras y efectivas.

La documentación botánica de Gutte, Müller & Müller (1986) también es clave al establecer registros florísticos de especies raras y nuevas para el Perú dentro de la familia Polygonaceae, ampliando el conocimiento sobre la biodiversidad nacional y subrayando la importancia de la conservación y estudio continuo de este grupo vegetal.

El estudio de la planta *Rumex peruanus* de su capacidad para adaptarse y acumular metales pesados tiene importancia considerable, tanto desde un punto de vista ecológico (fitorremediación). Asimismo, al comparar estos resultados con estudios similares en otras especies del género *Rumex* ayuda a entender el potencial y los límites de estos mecanismos en diferentes contextos ambientales y geográficos.

Capacidad de acumulación de los estudios previos indican que *Rumex hydrolapathum* puede acumular en promedio hasta 1840 mg/kg de Zn y 6400 mg/kg de Mn en hojas viejas (Levinsh et al., 2020). Si *Rumex peruanus* muestra capacidades similares, podría ser un candidato para la fitorremediación de sitios contaminados con metales pesados, especialmente en áreas urbanas como San Juan Pampa de la ciudad de Cerro de Pasco.

La tolerancia de *Rumex peruanus* a concentraciones elevadas de metales puede indicar un mecanismo de adaptación fisiológica que limita la

acumulación de metales en tejidos jóvenes y promueve la senescencia programada en hojas viejas, similar a lo observado en *Rumex hydrolapathum*.

Los indicadores de Mineralización en el país de Grecia, *Rumex acetosella* y *Minuartia verna* acumularon altos niveles de metales, actuando como indicadores de mineralización de sulfuros (Kelepertsis & Andrulakis, 1983). Esto sugiere que *Rumex peruanus* también sirve para identificar áreas con alta mineralización subterránea.

La tolerancia a condiciones extremas se revela en la investigación sobre *Rumex hydrolapathum*, dado que demuestra su tolerancia a inundaciones, salinidad y presencia de varios metales pesados, lo cual es crucial para su aplicación en los procesos de fitorremediación (Ivrić et al., 2023) Esto proporciona un marco comparativo para evaluar la resistencia y utilidad ecológica de *Rumex peruanus* bajo condiciones adversas.

En cuanto al potencial de Fitorremediación, la capacidad de *Rumex peruanus* para acumular metales y adaptarse a ambientes contaminados es un indicador para la recuperación de áreas urbanas contaminadas, como en San Juan Pampa de Cerro de Pasco.

Al entender cómo diferentes especies de *Rumex* gestionan el estrés ambiental por el incremento de la contaminación urbana y la reducción de espacios ecológicos, sugiero con este estudio mejorar las estrategias de conservación y gestión de especies nativas y su hábitat, asimismo, a orientar la selección de especies para programas de fitorremediación, restauración de hábitats degradados y mejora de la calidad del suelo.

### **Estándares Internacionales de Cd y Pb en Plantas (Hojas)**

El establecimiento de límites máximos permisibles para metales pesados en vegetales comestibles por parte de organismos internacionales como la FAO/OMS, la Unión Europea y la EPA de EE.UU. tiene importantes implicancias para el aprovechamiento seguro de especies vegetales nativas como la Putaqa

(*Rumex* spp.). Dado que esta planta es consumida tradicionalmente en distintas regiones del Perú —como lo demuestran estudios como el de Sánchez Mori (2019), donde *Rumex crispus* es valorada por sus propiedades nutricionales y funcionales—, resulta imprescindible considerar estos estándares al momento de evaluar su inocuidad alimentaria y su potencial para la comercialización a mayor escala.

La Putaqa, al crecer en suelos agrícolas o silvestres, podría estar expuesta a fuentes de contaminación ambiental como el uso de fertilizantes, aguas residuales, o suelos contaminados con metales pesados como cadmio (Cd) y plomo (Pb). La FAO/OMS establece que el contenido de cadmio no debe superar los 0,2 mg/kg y el de plomo los 0,3 mg/kg en vegetales de hoja en peso fresco. De forma similar, la Unión Europea, a través de regulaciones como el Reglamento (UE) 2023/915, establece límites equivalentes, especialmente para cultivos de hoja como espinaca y hierbas frescas, que son comparables en estructura y consumo a la Putaqa.

Esta normativa cobra especial importancia si se busca fomentar el uso de la putaqa no solo a nivel doméstico, sino también en mercados locales o incluso internacionales como producto alimenticio o fitoterapéutico. La ausencia de plaguicidas observada en estudios como el de Sánchez Mori es un punto a favor; sin embargo, no se puede garantizar su inocuidad sin un análisis específico de metales pesados. La EPA, por su parte, aunque no define límites concretos para tejidos vegetales, alerta sobre la relevancia de valores muy bajos, dado que incluso concentraciones de 0,005 mg/kg de cadmio podrían representar un riesgo crónico para la salud.

En consecuencia, si bien la putaqa muestra un alto potencial alimenticio y medicinal, su incorporación en programas de alimentación saludable o productos naturales requiere previamente una evaluación toxicológica rigurosa, específicamente orientada al análisis de metales pesados. Solo mediante esta

verificación será posible asegurar su uso seguro y conforme a estándares internacionales, fortaleciendo su valor como recurso biocultural y promoviendo su aprovechamiento sostenible en el Perú.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio confirman el alto potencial fitorremediador de la planta *Rumex peruanus* frente a la contaminación por metales pesados como el cadmio (Cd), plomo (Pb), zinc (Zn) y cobre (Cu) en suelos degradados del distrito de Yanacancha, provincia y región de Pasco. Se evidenció una notable capacidad de absorción y acumulación de estos metales en hojas viejas y secas, particularmente en concentraciones crecientes, lo cual demuestra su eficiencia en procesos de fitoextracción.

En el caso del cadmio y plomo, la planta logró acumular hasta 250 mg/kg y 2000 mg/kg de materia seca respectivamente, lo que implica una significativa translocación hacia los órganos aéreos, acompañada de una leve reducción en la biomasa seca, interpretada como una respuesta adaptativa al estrés por metales. Asimismo, la comparación con *Rumex hydrolapathum* mediante prueba t mostró que, aunque *R. hydrolapathum* tiende a presentar mayores niveles de acumulación de Zn, las diferencias no son estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ), lo que posiciona a *R. peruanus* como una alternativa local viable para procesos de remediación ambiental.

Por lo tanto, se concluye que *Rumex peruanus* es una especie con características fisiológicas y de absorción que la hacen apta para ser empleada en estrategias de fitorremediación en zonas impactadas por minería y otras actividades que generen contaminación por metales pesados, representando una solución ecológica, económica y sostenible. Se recomienda realizar estudios a escala de campo y evaluar la eficiencia en diferentes condiciones edafoclimáticas.

## RECOMENDACIONES

Es fundamental seleccionar y caracterizar adecuadamente los sitios de estudio donde se recolectarán las muestras de *Rumex peruanus*. Esto incluye la documentación detallada de las condiciones del suelo, como el pH, la composición mineral y la concentración previa de metales pesados. Además, debe tenerse en cuenta la historia de uso del suelo y las posibles fuentes de contaminación. Una caracterización exhaustiva ayuda a interpretar mejor los resultados obtenidos y a comprender cómo las variaciones ambientales influyen en la adaptabilidad y acumulación de metales por parte de la planta.

Durante el estudio, es esencial monitorear continuamente las variables ambientales que podrían afectar los resultados, tales como las condiciones climáticas, la humedad del suelo y la exposición a otros contaminantes. Estas variables pueden influir significativamente en la absorción y acumulación de metales en las plantas. Implementar un sistema de monitoreo que registre estos factores proporcionará una base de datos rica que permitirá realizar análisis más profundos sobre los mecanismos de adaptación de la planta.

Para validar los resultados del estudio, es crucial utilizar controles adecuados. Esto incluye, por ejemplo, cultivar *Rumex peruanus* en condiciones controladas sin exposición a metales pesados para comparar con las plantas expuestas a los contaminantes. Así mismo, podría ser útil incluir otras especies de plantas como controles para determinar si los resultados observados son específicos de *Rumex peruanus* o son comunes a otras especies en condiciones similares.

Las técnicas de muestreo y análisis deben ser consistentes a lo largo del estudio para garantizar que los datos sean comparables. Esto incluye el uso de métodos estandarizados para la recolección de muestras de plantas y suelo, así como para la determinación de la concentración de metales en las muestras analizadas. La estandarización de estos métodos facilitará la comparación de resultados entre diferentes momentos del estudio y entre diferentes ubicaciones.

Además de los estudios de corto plazo, es recomendable evaluar el impacto a largo plazo de la acumulación de metales en *Rumex peruanus*, incluyendo la posible transferencia de metales a la cadena alimentaria y el ecosistema en general. Estos estudios podrían incluir el seguimiento de las poblaciones de plantas durante varias temporadas de crecimiento para observar los cambios fisiológicos y genéticos que puedan surgir como respuesta a la exposición prolongada a metales pesados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cakmak, I. (2015). Zinc para la Producción Global Sustentable de Cultivos y mejores Dietas Nutricionales. *Intagri*.
- Calcina, J. A. C. (2020). Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.
- Carhuaricra, A. J. Q. (2020). Fitorremediación con ricinus communis para el tratamiento de suelos contaminados con plomo en la ciudad de Cerro de Pasco.
- Cartea, M. E., Vilar, M., Francisco, M., & Lema, M. (2006). Brassica rapa, Brassica nigra, Brassica oleracea, Brassica juncea, Brassica napus. 1–20.
- Concha Pérez, M. (2013). Impacto Ambiental del Crecimiento Urbano en el Alto Q'osqo, San Sebastián - Cusco. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Recuperado el 26 de junio de 2020, de <http://repebis.upch.edu.pe/articulos/antoniano/v23n123/a9.pdf>
- Congreso de la República. (2005, 15 de octubre). Ley General del Ambiente - Ley N° 28611. Obtenido de <https://spij.minjus.gob.pe/spij-ext-web/detallenorma/H901891>
- De la Cruz Mera Carlos. (2021). Niveles de contenido de Plomo y Zinc en órganos no reproductivos de *Polylepis sp.* en tres localidades de Pasco.
- Díaz Lazo, J. H. (2016). *Evaluación de la contaminación del suelo con plomo y su efecto en la sangre de las poblaciones vulnerables en la ciudad de Cerro de Pasco*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- FAO. (2019). *La contaminación del suelo una realidad oculta*. Roma: Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Fennell, D. A. (1999). Sustainable Development. *Ecotourism*. University of Huddersfield.
- Ficeda. (2017). *Lo que no sabes de la Central de Abastos*. Recuperado el 26 de junio de 2020, de <https://www.cityexpress.com/blog/lo-que-no-sabes-de-la-central-de-abastos>
- García, C., Moreno, J. L., Teresa, M., & Polo, A. (2002). Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo.

- Galan Huertos, E., & Romero Baena, A. (2008). Contaminación de Suelos por Metales Pesados. *Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Universidad de Sevilla. Sevilla*, 48-60.
- Gamarra Agama, S. (2017). *Ánisis de la Cobertura y Uso de la Tierra Utilizando imágenes de Resolución Espacial Media para el Distrito de San Ramón - Chanchamayo - Junín - Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina - Facultad de Ciencias Forestales*. Recuperado el 26 de junio de 2020, de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3292>
- Garrido Asenjo, N. R. (2022). *Remediación de Pasivos Ambientales mediante Técnicas Biológicas | Biorremediación y Fitorremediación. CODEa UNI*.
- Gerencia de Planeamiento Urbano. (2020). *Proceso para la formulación del nuevo Plan de Desarrollo Urbano 2022 – 2032*. Recuperado el 26 de junio de 2020, de <http://msi.gob.pe/portal/proceso-para-la-formulacion-del-nuevo-plan-de-desarrollo-urbano-2022-2032/#:~:text=Un%20plan%20de%20desarrollo%20urbano%20es%20un%20documento%20t%C3%A9cnico%20donde,ha%20de%20hablar%20en%20dicho>
- Gestion en Recursos Naturales (GRN). (2018). *Impactos Ambientales*. Recuperado el 26 de junio de 2020, de <https://www.grn.cl/impacto-ambiental.html>
- Gobierno Regional Pasco. (2015). *Estudio de diagnóstico y zonificación para el tratamiento de la demarcación territorial de la provincia Daniel Carrión. Cerro de Pasco*.
- Grant, K. D. (2020). *Muelles y acederas (Rumex; Polygonaceae): Evolución de sistemas reproductivos muy diversos y patrones variables de asignación de recursos*. Washington, D.C.: Howard University ProQuest Dissertations & Theses.
- Guevara, M. (2017). *Impacto del crecimiento urbano en zonas agrícolas: Reserva Territorial, Puebla*. doi:10.18537/est.v006.n011.a04

- Gutte, P., Müller, G. K., & Müller, C. (1986). Nuevos descubrimientos para la flora peruana y redescubrimientos de especies raras: Ranunculaceae a Primulaceae. *Willdenowia*, 187-201.
- J.M. Becerril et al. (2007). Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación. *Ecosistemas*, 16(2), 50–55. <http://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/128>
- Kevin Roger, L. V. (2017). Facultad de ingeniería.
- Kelepertsis, A., & Andrulakis, I. (1983). Geobotany-biogeochemistry for mineral exploration of sulphide deposits in northern Greece — Heavy metal accumulation by *Rumex acetosella* L. and *Minuartia verna* (L.) Hiern. *Journal of Geochemical Exploration*, 18, 267-274. [https://consensus.app/papers/geobotanybiogeochemistry-exploration-sulphide-kelepertsis/5795f51f520c5c2ba6229690c5a63497/?utm\\_source=chatgpt](https://consensus.app/papers/geobotanybiogeochemistry-exploration-sulphide-kelepertsis/5795f51f520c5c2ba6229690c5a63497/?utm_source=chatgpt)
- Kelley, C., Gaither, K. K., Baca Spry, A., & Cruickshank, B. J. (2000). Incorporation of phytoremediation strategies into the introductory chemistry laboratory. *Chem Educator*, 140-143.
- Koenemann, D. M., Kistler, L., & Burke, J. M. (2023). Una filogenia plastómica de *Rumex* (Polygonaceae) arroja luz sobre las historias evolutivas divergentes de los muelles y las acederas. *Molecular Phylogenetics and Evolution*.
- Levinsh, G., Dišlere, E., Karlsons, A., Osvalde, A., & Vikmane, M. (2020). Physiological Responses of Wetland Species *Rumex Hydrolapathum* to Increased Concentration of Biogenous Heavy Metals Zn and Mn in Substrate. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B. Natural, Exact, and Applied Sciences*, 74, 35-47. [https://consensus.app/papers/responses-wetland-species-rumex-hydrolapathum-increased-levinsh/f140720333dd53bfbae7480692fbe953/?utm\\_source=chatgpt](https://consensus.app/papers/responses-wetland-species-rumex-hydrolapathum-increased-levinsh/f140720333dd53bfbae7480692fbe953/?utm_source=chatgpt)
- Leviņa, S., Karlsons, A., Osvalde, A., Andersone-Ozola, U., & Levinsh, G. (2023). Coastal Wetland Species *Rumex hydrolapathum*: Tolerance against Flooding,

- Salinity, and Heavy Metals for Its Potential Use in Phytoremediation and Environmental Restoration Technologies. *Life*, 13. [https://consensus.app/papers/wetland-species-rumex-hydrolapathum-tolerance-flooding-ieviņa/492248918a3b54da90140aab46f2befd/?utm\\_source=chatgpt](https://consensus.app/papers/wetland-species-rumex-hydrolapathum-tolerance-flooding-ieviņa/492248918a3b54da90140aab46f2befd/?utm_source=chatgpt)
- Ley General del Ambiente. (2005). *Ley General del Ambiente*. Perú. Obtenido de [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con2\\_uibd.nsf/46BDA80A2F7B1DE5052575C30052CF8D/\\$FILE/Ley\\_General\\_de\\_Ambiente\\_28611.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con2_uibd.nsf/46BDA80A2F7B1DE5052575C30052CF8D/$FILE/Ley_General_de_Ambiente_28611.pdf)
- Macek, T., Kotrba, P., Svatos, A., Novakova, M., Demnerova, K., & Mackova, M. (2007). Novel roles for genetically modified plants in environmental protection. *Trends in Biotechnology*, 146-152.
- Malaga, C. E. C. (n.d.). Universidad nacional agraria la molina.
- MINAM. (2016). Glosario de términos. 1–17.
- Muñoz-Castellanos, L. N., Nevárez-Moorillón, G. V., Ballinas-Casarrubias, M. L., & Peralta-Pérez, M. R. (2010). Fitorremediación como una alternativa para el tratamiento de suelos contaminados. *Toctli*(1:3), 1–9.
- Ortega Blu, R., & Martínez, M. M. (2020). Toxicidad de cobre en el suelo: consecuencias del uso indiscriminado en sistemas productivos. *Mundoagro*.
- Padmavathiamma, P. K., & Li, L. (2007). Phytoremediation Technology: Hyperaccumulation Metals in Plants. . *Water, Air, & Soil Pollution*, 105-126.
- Pérez Porto, J., & Merino, M. (2009). *Definición de Agricultura*. Recuperado el 26 de junio de 2020, de <https://definicion.de/agricultura/>
- Pillaca Medina, M. L. (2006). *Formulación y evaluación de calidad del champú elaborado con hojas de Rumex peruanus "putaqa"*. Ayacucho – 2005. Huamanga: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Prieto Méndez, J., González Ramírez, C. A., Román Gutiérrez, A. D. ., & Prieto García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua Tropical and Subtropical Agroecosystems.

Tropical and Subtropical Agroecosystems, 10(1), 29–44.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911243003>

Ramos, J. R. (2015). Estudio del proceso de fitovolatilización de humedales construidos. Declaración de Autoría.

Riera, J. U. P. (2014). Universidad técnica de cotopaxi. Robles Morales, E. G., Medina Escudero, A. M., & Medina Escudero, C. S. (2019). La contaminación del aire por el material particulado y su relación con las enfermedades de tipo respiratorio en la población de Cerro de Pasco (2010 y 2016). *Industrial Data*, 22(1), 173–186. <https://doi.org/10.15381/idata.v22i1.16533>

Rosete Vergés, F., Pérez Damián, J., & Bocco, G. (2008). Cambio de uso del suelo y vegetación en la Península de Baja California, México. *Universidad Nacional Autónoma de México*. Recuperado el 26 de junio de 2020, de <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n67/n67a4.pdf>

Ruiz Mitjana, L. (2018). *¿Qué es el diseño de investigación y cómo se realiza?* Recuperado el 27 de junio de 2020, de Analizamos el conjunto de herramientas, técnicas y métodos idóneos para realizar una investigación.: <https://psicologiymente.com/miscelanea/disenio-de-investigacion>

Sanchez Mori, P. (2019). *Caracterización botánica y fisico-químico de la planta comestible (Rúmx crispus L.) Mala yerba*. Huacho: Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion.

Sarmiento Sarmiento, G., & Febres Flores, S. (2021). Recuperación de plomo en suelo agrícola contaminado artificialmente como estrategia de remediación mediante girasol y vermicompost. *Revista Chapingo. Serie horticultura*.

Shutterstock. (2017). *Tipos de investigación: Descriptiva, Exploratoria y Explicativa*. Recuperado el 27 de junio de 2020, de Métodos de investigación: <https://noticias.universia.cr/educacion/noticia/2017/09/04/1155475/tipos-investigacion-descriptiva-exploratoria-explicativa.html>

- Singh, O., & Jain, R. K. (2003). Phytoremediation of toxic aromatic pollutants from soil. *Applied and Microbiology Biotechnology*, 128-135.
- Torres-Gonzales, Y., Rojas-Carrizales, A. G., Salas-Contreras, W. H., & Hinojosa-Benavides, R. A. (2021). Fitorremediación de Suelos Contaminados por Metales Pesados. *Scientific Research Journal CIDI*, 1(1), 25–36. <https://doi.org/10.53942/srjcidiv1i1.43>
- Tucto Villanueva, A. N. (2015). Provincia Daniel Carrión - Yanahuanca. *El Diamante*, 24.
- Watanabe, M. E. (1997). Phytoremediation on the brink of commercialization. *Environmental Science & Technology*, 182-186.
- Yulieth C. Reyes<sup>1</sup>, I. V., & , Omar E. Torres<sup>1</sup> Mercedes Díaz<sup>2</sup>, E. E. G. 1. (2016). Contaminación por metales pesados:Implicaciones en la salud,ambiente y seguridad alimentaria. 16, 66–77.
- Zárate Martín, M. (s.f.). *Crecimiento Poblacional*. Recuperado el 26 de junio de 2020, de GeoEnciclopedia: <https://www.geoenciclopedia.com/crecimiento-poblacional/>

## **ANEXOS**

## Anexo 1

### Instrumentos de Recolección de Datos



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION  
INSTITUTO CENTRAL DE INVESTIGACION  
LABORATORIOS DE AGUAS Y SUELOS

#### INFORME DE ENSAYO

Numero de informe: 96  
Usuarios: José Luis Valerio Jara y  
Nayely Kimberly Herrera Chamorro  
Muestra: Planta Rumex peruanus Rech.fil. (Putacca)  
Fecha del análisis: 25 de noviembre 2024.  
Lugar de la muestra: San Juan Pampa – Yanacancha

A continuación, se detalla los Resultados de los análisis de absorción atómica

Metal	Hojas viejas mg/Kg	Hojas pequeñas mg/Kg	Hojas medianas Mg/Kg
Zn	0.96	0.88	0.80
	1.85	1.08	1.09
	1.40	1.00	1.00
	2.81	1.22	1.19
Cu	0.51	0.47	0.43
	0.99	0.58	0.59
	0.48	0.34	0.34
	0.97	0.42	0.41

Cerro de Pasco, 27 de noviembre 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION  
INSTITUTO CENTRAL DE INVESTIGACION  
LABORATORIOS DE AGUAS Y SUELOS  
CERRO DE PASCO  
JOSÉ LUIS VALERIO JARA PALACIO  
RESPONSABLE

## Anexo 2 Matriz de consistencia

**Título:** Análisis de la adaptabilidad y la acumulación de metales pesados en la planta Rumex peruanus Rech.fil. (Putaqá) en crecimiento en el área urbana de San Juan Pampa, distrito de Yanacancha, Provincia y Región de Pasco

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	MUESTRA	DISEÑO	ESTADISTICA
<b>Problema General</b> ¿Cuál es capacidad de adaptabilidad y la absorción del contenido de metales pesados en la planta nativa Rumex peruanus Rech.fil? (Putaqá) en suelos contaminados en el distrito de Yanacancha -Pasco?	<b>Objetivo General</b> Determinar capacidad de adaptabilidad y la absorción del contenido de metales pesados en la planta nativa Rumex peruanus Rech.fil (Putaqá) en suelos contaminados en el distrito de Yanacancha -Pasco	<b>Hipótesis General</b> El nivel de contenido de metales pesados en la planta nativa Rumex peruanus Rech.fil (Putaqá) son altos.	<b>V.I</b> El nivel de contenido de metales pesados	<b>Población</b> Contenido de metales pesados de la planta nativa Rumex peruanus Rech.fil (Putaqá).	<b>Método</b> Hipotético - deductivo	Estadística Inferencial
<b>Problemas Específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Hipótesis Específicas</b>	<b>V.D</b>	<b>Muestra</b>	<b>Nivel de investigación</b>	<b>Validación de hipótesis</b>
¿Cuál es la capacidad de adaptabilidad de la planta nativa Rumex peruanus Rech.fil? (Putaqá).	Determinar la capacidad de adaptabilidad de la planta nativa Rumex peruanus Rech.fil (Putaqá).	El nivel de contenido de plomo en las hojas, tallo y raíz de la la planta nativa Rumex peruanus Rech.fil (Putaqá) es mayor a 20 ppm.	Planta nativa Rumex peruanus Rech.fil (Putaqá) suelos contaminados	Muestreo intencionado no probabilístico	Causal	Pruebas paramétricas
¿Cuál es el nivel de contenido de Plomo y Cadmio en las hojas, planta nativa Rumex peruanus Rech.fil? (Putaqá)?	Determinar es el nivel de absorción del contenido de Plomo y Cadmio en las hojas, planta nativa Rumex peruanus Rech.fil (Putaqá).	El nivel de contenido de cadmio en las hojas, tallo y raíz de la planta nativa Rumex peruanus Rech.fil (Putaqá) es mayor a 15 ppm.		No Experimental	Diseño	T Student

## Anexo 1 VISITA EN CAMPO









GPS Map Camera



Cerro De Pasco, Pasco, Perú  
Yanacancha, Av. Ricardo Palma #310, Cerro De Pasco 19001, Perú  
Lat -10.662209°  
Long -76.25404°



