

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

ESCUELA DE POSGRADO



T E S I S

**Análisis de la concentración de la absorción de plomo en el género *Polylepis*
en el área verde de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco -**

2023

Para optar el grado académico de Maestro en:

Gestión del Sistema Ambiental

Autor:

Bach. Steffany Susan SOLIS CANTA

Asesor:

Mg. Pit Frank ALANIA RICALDI

Cerro de Pasco – Perú - 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

ESCUELA DE POSGRADO



T E S I S

**Análisis de la concentración de la absorción de plomo en el género *Polylepis*
en el área verde de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco -**

2023

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Rommel Luis LÓPEZ ALVARADO
PRESIDENTE

Dr. Jorge Aladino CARUAJULCA LOMBARDI
MIEMBRO

Mg. Luis Arturo LAZO PAGÁN
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
Escuela de Posgrado
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 156-2025- DI-EPG-UNDAC

La Unidad de Investigación de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Presentado por:
Steffany Susan SOLIS CANTA

Escuela de Posgrado:
MAESTRÍA EN GESTIÓN DEL SISTEMA AMBIENTAL

Tipo de trabajo:
TESIS

TÍTULO DEL TRABAJO:
“ANÁLISIS DE LA CONCENTRACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE PLOMO EN EL GÉNERO POLYLEPIS EN EL ÁREA VERDE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN, PASCO - 2023”

ASESOR (A): Mg. Pit Frank ALANIA RICALDI

Índice de Similitud:
21%

Calificativo
APROBADO

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 07 de octubre del 2025



Firmado digitalmente por BALDEON
DIEGO Jheysen Luis FAU
20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 07.10.2025 14:40:13 -05:00

DOCUMENTO FIRMADO DIGITALMENTE
Dr. Jheysen Luis BALDEON DIEGO
DIRECTOR

DEDICATORIA

A Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por todas sus bendiciones constantes, porque me da valor para enfrentar los problemas y me da paz en medio de las dificultades.

A mis amados padres por su amor incondicional, por ser un faro de sabiduría y orientación, por transmitirme siempre su gran ejemplo de perseverancia y constancia de salir adelante, por siempre confiar en mí y por enseñarme a dar lo mejor de mí en todo, los amo.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi sincero agradecimiento por la dedicación y entrega en la labor de formar maestros en la Escuela de Posgrado, de nuestra querida universidad. Gracias a su esfuerzo y compromiso, nos brindan el conocimiento y las herramientas necesarias para construir un futuro en el área de la investigación y nos llena de oportunidades.

Valorar profundamente cada clase impartida, cada consejo compartido y cada minuto que invierten en ayudarnos a crecer. Sabemos que su trabajo va más allá de las horas en el aula y que muchas veces sacrifican su tiempo personal por el bienestar y el aprendizaje de todos nosotros. Su vocación y paciencia nos inspiran a ser mejores personas y profesionales.

Gracias por ser guías, mentores y modelos a seguir. Por todos los desafíos y aprendizajes que nos han ayudado a superar, les damos nuestro más sincero agradecimiento. Su impacto en nuestras vidas perdurará y llevará el sello de excelencia y compromiso que ustedes, nuestros docentes del posgrado, encarnan.

RESUMEN

El análisis de la concentración de la absorción de plomo en el género *Polylepis* en las áreas verdes de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco, aborda la problemática de la contaminación por plomo, debido a las actividades antropogénicas, especialmente en el contexto de la minería. Siendo el objetivo general analizar la capacidad de absorción de plomo en el género *Polylepis* en el área verde de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. La metodología empleó un diseño no experimental con muestreo no aleatorio y análisis mediante espectroscopia de absorción atómica para medir las concentraciones de plomo en hojas, tallos y raíces de *Polylepis*. Los resultados indicaron variabilidad en la absorción de plomo, con concentraciones promedio de 8.710 ppm en hojas, 9.815 ppm en tallos y 4.215 ppm en raíces, destacando la mayor capacidad de acumulación en los tallos. Se concluyó que las concentraciones promedio de plomo fueron más altas en los tallos (9.815 ppm) comparadas con las hojas (8.710 ppm) y las raíces (4.215 ppm). Esto sugiere que los tallos tienen una mayor capacidad de acumulación de plomo, lo cual es crucial para entender la distribución del metal dentro de la planta. Además, que la estructura dasométrica y las condiciones ambientales influyen en la absorción de plomo. La investigación subraya la importancia de estrategias de conservación y manejo de *Polylepis* para mitigar la contaminación por plomo y propone la implementación de programas de monitoreo continuo y la promoción de la conservación y restauración de estas áreas.

Palabras Claves: Absorción, concentración, contaminación, plomo, *Polylepis*.

ABSTRACT

The analysis of the concentration of lead absorption in the genus *Polylepis* in the green areas of the Daniel Alcides Carrión National University, Pasco, addresses the problem of lead contamination, due to anthropogenic activities, especially in the context of mining. The general objective is to analyze the lead absorption capacity in the genus *Polylepis* in the green area of the Daniel Alcides Carrión National University. The methodology used a non-experimental design with non-random sampling and analysis by atomic absorption spectroscopy to measure lead concentrations in leaves, stems and roots of *Polylepis*. The results indicated variability in lead absorption, with average concentrations of 8,710 ppm in leaves, 9,815 ppm in stems and 4,215 ppm in roots, highlighting the greater accumulation capacity in the stems. It was concluded that average lead concentrations were higher in stems (9,815 ppm) compared to leaves (8,710 ppm) and roots (4,215 ppm). This suggests that the stems have a greater capacity for lead accumulation, which is crucial to understanding the distribution of the metal within the plant. Furthermore, the dasometric structure and environmental conditions influence lead absorption. The research highlights the importance of conservation and management strategies for *Polylepis* to mitigate lead contamination and proposes the implementation of continuous monitoring programs and the promotion of the conservation and restoration of these areas.

Keywords: Absorption, concentration, contamination, lead, *Polylepis*.

INTRODUCCIÓN

La contaminación por metales pesados, como el plomo, es un problema ambiental serio, especialmente en zonas mineras como Pasco, Perú. Estos metales contaminan el suelo y son absorbidos por las plantas, lo que representa un riesgo para la salud humana y el medio ambiente, ya que el plomo es altamente tóxico y no se descompone, acumulándose en organismos vivos y causando efectos adversos.

En este contexto, el género *Polylepis*, que domina en los ecosistemas altoandinos, ha mostrado ser eficaz en la fitorremediación, es decir, en la limpieza de suelos contaminados. La investigación se enfoca en estudiar la capacidad de la especie *Polylepis* para absorber plomo en distintas partes de la planta (hojas, tallos y raíces) en las áreas verdes de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en Pasco.

Se recolectaron muestras de hojas, tallos y raíces, y se midió la concentración de plomo en cada una usando espectroscopia de absorción atómica. Los resultados mostraron que los tallos acumulan más plomo (9.815 ppm), seguidos por las hojas (8.710 ppm) y las raíces (4.215 ppm). Esto indica que *Polylepis* es especialmente efectivo en absorber plomo en sus partes aéreas.

La diferencia en la absorción de plomo entre las distintas partes de la planta puede deberse a factores como el clima, la altitud, el tipo de suelo y las características fisiológicas de la planta. En áreas de mayor altitud y precipitación, *Polylepis* tiende a tener una mayor biomasa, lo que aumenta su capacidad de acumular metales pesados.

Estos hallazgos son importantes para desarrollar tecnologías de biorremediación en áreas contaminadas por la minería. *Polylepis* podría ser una solución sostenible y efectiva para reducir la contaminación del suelo, y su conservación y uso en programas de restauración podría mejorar la salud de los ecosistemas afectados.

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la investigación.....	3
1.3. Formulación del problema	4
1.3.1. Problema general.....	4
1.3.2. Problemas específicos	4
1.4. Formulación de objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. Justificación de la investigación	5
1.5.1. Justificación teórica.....	5
1.5.2. Justificación ambiental.....	5
1.5.3. Justificación metodológica.....	5
1.5.4. Justificación práctica	6
1.5.5. Justificación social	6
1.6. Limitaciones de la investigación.....	7

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio.....	8
2.1.1.	Antecedentes internacionales	8
2.1.2.	Antecedentes Nacionales	12
2.1.3.	Antecedentes Locales	18
2.2.	Bases teóricas- científicas	21
2.2.1.	El plomo	21
2.2.2.	Ciclo natural del plomo (Pb)	22
2.2.3.	Contaminación de suelos por plomo provocada por la industria minera ..	23
2.2.4.	Toxicidad del plomo sobre la salud humana	25
2.2.5.	Género <i>polylepis</i>	30
2.3.	Definición de términos básicos	37
2.4.	Formulación de hipótesis	39
2.4.1.	Hipótesis general	39
2.4.2.	Hipótesis específicas	40
2.5.	Identificación de las variables	40
2.5.1.	Variable independiente.....	40
2.5.2.	Variable dependiente	40
2.5.3.	Variable dependiente.....	40
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores.	41

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación	42
3.2.	Nivel de investigación.....	43

3.3. Métodos de investigación.....	43
3.3.1. Métodos de muestreo y análisis	43
3.4. Diseño de investigación	44
3.5. Población y muestra	44
3.3.2. Población.....	44
3.3.3. Muestra.....	45
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	46
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.	46
3.8. Técnicas de procesamientos y análisis de datos.....	47
3.9. Tratamiento estadístico	47
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica	47

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	49
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.	50
4.3. Prueba de hipótesis.....	55
4.4. Discusión de resultados.....	56

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1 Áreas verdes de la Ciudad Universitaria de la UNDAC.	3
Figura 2 Área verde de la UNDAC.....	31
Figura 3 Se muestra la corteza del <i>Polylepis</i>	32
Figura 4 Ramas del género <i>polypelis</i>	33
Figura 5 Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.....	45
Figura 6. Factor de Bioacumulación.....	51
Figura 7. Concentraciones de Plomo en el género <i>Polylepis</i> (mg/kg).	53
Figura 8. Concentración de Pb en tres localidades de la ciudad de C. de P.	54
Figura 9 Identificación de ejemplares 1	66
Figura 10 Identificación de ejemplares 2.	66
Figura 11 Identificación de ejemplares 3.	66
Figura 12 Identificación de ejemplares 4.	66
Figura 13 Identificación de ejemplares 5.	67
Figura 14 Identificación de ejemplares 6.	67
Figura 15 Identificación de ejemplares 7.	67
Figura 16 Identificación de ejemplares 8.	67
Figura 17 Identificación de ejemplares 9.	68
Figura 18 Identificación de ejemplares 10.	68
Figura 19 Identificación de ejemplares 11.	68
Figura 20 Identificación de ejemplares 12.	68
Figura 21 Identificación de ejemplares 13.	69
Figura 22 Identificación de ejemplares 14.	69
Figura 23 Identificación de ejemplares 15.	69
Figura 24 Identificación de ejemplares 16.	69

Figura 25 <i>Identificación de ejemplares 17.</i>	70
Figura 26 <i>Identificación de ejemplares 18.</i>	70
Figura 27 <i>Identificación de ejemplares 19.</i>	70
Figura 28 <i>Identificación de ejemplares 20.</i>	70

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1 <i>Ubicación de la zona de estudio.</i>	45
Tabla 2 <i>Técnicas e Instrumentos para la recolección de datos.</i>	47
Tabla 3 <i>Concentración de Plomo en el género Polylepis y en el Suelo.</i>	51
Tabla 4 <i>Concentraciones de Plomo en el género Polylepis (mg/kg).</i>	52
Tabla 5 <i>Concentración de Pb en tres localidades de la ciudad de Cerro de Pasco.</i>	54
Tabla 6 <i>Prueba de hipótesis para una muestra</i>	56

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1: Recolección de Datos	66
Anexo 2.Procedimiento de validación y confiabilidad.....	71
Anexo 3. Matriz de consistencia	74
Anexo 4. Resultados de Análisis de Metales Pesados.....	75

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

La mina a cielo abierto Raúl Rojas, ubicada en la ciudad de Cerro de Pasco, es una de las explotaciones mineras más grandes del Perú. Su expansión de la mina avanza cada vez más cerca a zonas urbanas, con una excavación de casi 2 kilómetros de longitud y 300 metros de profundidad. Esta situación pone en riesgo la seguridad y el bienestar de las viviendas y sus habitantes de la ciudad, situada a más de 4,300 metros sobre el nivel del mar, la cual se extiende alrededor de la mina.

Sin embargo, para los habitantes de la ciudad de Cerro de Pasco, el principal riesgo no radica en la expansión de la mina, sino en la constante exposición a niveles elevados de metales pesados. Durante décadas, sus 29,192 habitantes han enfrentado las desastrosas consecuencias de esta contaminación invisible, que afecta gravemente la salud y calidad de vida de los habitantes. A pesar de esto, la empresa minera involucrada sigue eludiendo su responsabilidad,

y las autoridades han mantenido, en gran medida, una actitud de indiferencia, siendo ello una fuente de desafío ambiental y social.

La contaminación ambiental derivada de actividades humanas como la minería tiene graves efectos, principalmente debido a la presencia de metales tóxicos como el plomo (Pb), lo cual perjudica tanto al ecosistema como a la salud humana en distintas regiones del mundo. Estos metales representan una amenaza significativa para el desarrollo y la supervivencia de los organismos vivos. En Cerro de Pasco, las actividades mineras han degradado el aire, el agua y el suelo, alterando gravemente los ecosistemas y afectando a la población de la ciudad de Cerro de Pasco.

En el distrito de Yanacancha, la contaminación atmosférica es un problema urgente, con la liberación de metales pesados como el plomo, que resulta extremadamente dañino para los organismos vivos. Debido a su estabilidad química, el plomo se acumula en seres vivos, como las plantas, lo que hace esencial implementar medidas para su captura, eliminación o tratamiento, en busca de mejorar la calidad de vida tanto de los habitantes como del entorno.

En los últimos años, la investigación ha avanzado en la exploración de especies vegetales terrestres, como el género *Polylepis*, capaces de absorber metales pesados. Este proceso contribuye a reducir la concentración de contaminantes en el ambiente. Las tecnologías de remediación, que pueden ser naturales o sintéticas, se eligen según características como el tipo de especie, el clima, y las propiedades del suelo y de los materiales absorbentes.

El género *Polylepis*, en particular, se ha destacado como una opción prometedora para la absorción de plomo en áreas verdes, como las de la

Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Su alta capacidad de adaptación y eficacia en la remoción de contaminantes lo convierten en un recurso valioso en los esfuerzos para mitigar la contaminación ambiental en Cerro de Pasco.

1.2. Delimitación de la investigación

Delimitación espacial

La investigación se realizó en las zonas de las áreas verdes de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, ubicada en el distrito de Yanacancha, en la provincia y departamento de Pasco.

Figura 1 *Áreas verdes de la Ciudad Universitaria de la UNDAC.*



Fuente: Elaboración propia

Delimitación temporal

El trabajo de campo y gabinete fue realizado entre los meses de abril y mayo del 2024.

Delimitación conceptual

Para el presente estudio la primera variable comprende solo a la especie *Polylepis*, y respecto a la segunda variable comprende solo a la concentración de la absorción de plomo.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es el análisis de la capacidad de absorción de plomo en el género *Polylepis* en el área verde de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco - 2023?

1.3.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuál es la concentración de absorción de plomo en el género *Polylepis* en el área verde de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco - 2023?
- b. ¿Cuál es el resultado de la comparación y análisis con otros estudios respecto a los niveles de contenido de plomo en el género *Polylepis*?

1.4. Formulación de objetivos.

1.4.1. Objetivo general

Analizar la capacidad de absorción de plomo en el género *Polylepis* en el área verde de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco – 2023.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Determinar la concentración de absorción de plomo en el género *Polylepis* en las diferentes partes de la planta en el área verde de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco – 2023.
- b. Comparar y analizar con otros estudios respecto a los niveles de contenido de plomo en el género *Polylepis*.

1.5. Justificación de la investigación

1.5.1. Justificación teórica

Esta investigación es crucial para evaluar la concentración de plomo absorbida por el género de la planta *Polylepis*, en la zona de las áreas verdes de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Los resultados permitieron entender mejor el impacto ambiental que las operaciones de la empresa minera tienen tanto en el ecosistema como en los organismos vivos.

1.5.2. Justificación ambiental

La problemática de la contaminación por metales pesados, en especial por plomo (Pb), es una preocupación ambiental y de salud pública de alta relevancia en la región de Cerro de Pasco. Las actividades mineras a cielo abierto han generado niveles elevados de plomo en el aire, el suelo y el agua, afectando gravemente los ecosistemas locales y exponiendo a la población a riesgos para su salud. En este contexto, las áreas verdes de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión representan un espacio significativo para estudiar y aplicar prácticas de mitigación ambiental que podrían beneficiar tanto a la comunidad universitaria como a la ciudad en general.

La planta del género *Polylepis* ha demostrado una notable capacidad para absorber y acumular metales pesados, como el plomo, desde el suelo. Su uso en las áreas verdes de la universidad no solo contribuiría a mejorar la calidad ambiental de dicho espacio, sino que, a través de estudios.

1.5.3. Justificación metodológica

La metodología utilizada para analizar las concentraciones de metales pesados en la planta consistió en recolectar muestras de *Polylepis* en la zona de áreas verde de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Estas muestras

fueron posteriormente examinadas en el laboratorio utilizando la técnica instrumental de Espectrofotometría de Absorción Atómica, que permite medir las concentraciones de metales pesados presentes en el género de la planta silvestre *Polylepis*.

1.5.4. Justificación práctica

La contaminación por metales pesados derivada de la actividad minera en la ciudad de San Juan Pampa en Cerro de Pasco, ha impactado tanto directa como indirectamente el suelo, agua y aire. Sin embargo, también se considera otras fuentes de contaminación como el tránsito vehicular urbana, la re-suspensión de polvo contaminado y los residuos de antiguas emisiones industriales, que en conjunto agravan la presencia de metales como el plomo en el ambiente. En la última década, se han realizado investigaciones sobre la capacidad de ciertas especies de flora terrestre como el *Polylepis* y otras, para absorber metales, ya que este proceso ayuda a reducir los contaminantes metálicos presentes en el suelo. La elección de esta planta *Polylepis*, en crecimiento en la zona de las áreas verdes de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, se basa en sus características estructurales, químicas, superficiales, morfológicas y condiciones ambientales, ya que son capaces de acumular mayores cantidades de metales pesados en sus partes aéreas que en sus raíces, lo que las hace útiles para la remoción de contaminantes ambientales.

1.5.5. Justificación social

Esta investigación aportará al desarrollo de estrategias para la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados mediante el uso de la planta del género *Polylepis*. Esto beneficia a los estudiantes en la mejora de la calidad de vida, al tener espacios libres y sanos y al evitar ser expuesto a estos

suelos con presencia de metales pesados, ya sea de manera directa o indirecta, por las actividades mineras en la región.

1.6. Limitaciones de la investigación

Entre las limitantes que se tuvo que enfrentar podemos mencionar las más relevantes:

El tiempo, siempre será corto para llevar a cabo estudios más profundos respecto al tema en cuestión, y aislar posibles variables externas que pudieran afectar los resultados de la investigación.

La carencia de un sistema de información que facilite la revisión de la producción técnica y científica relacionada a la especie de la flora estudiada género *Polylepis* en el área verde de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales

Wu et al. (2021) “Evaluación del potencial de fitorremediación de plantas nativas dominantes y distribución espacial de metales pesados en una zona minera abandonada en el suroeste de China”, realizaron la investigación de campo sobre el contenido de metales pesados en suelos y plantas dominantes en tres sitios (A < 0,5 km, B < 1,0 km, C < 1,5 km) con diferentes distancias de relaves mineros. Se comparó la distribución espacial de metales pesados y la acumulación en plantas, y se seleccionaron las especies candidatas para la restauración del ecosistema. Los resultados indicaron que el suelo estaba contaminado por cromo (Cr), cadmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni) en diversos grados, que es 2,07, 2,60, 1,79 y 4,49 veces más alto que el estándar de Clase-II en China. La concentración de Ni, Cd y Zinc (Zn) aumentó, mientras que Cr, Plomo (Pb) y Cu disminuyeron con la distancia de los relaves mineros. Se encontraron 73 especies (34 familias) y principalmente plantas herbáceas. Se midió la concentración de Cd, Cu, Cr y

Ni en 29 plantas dominantes y el 66,67%, 21,43%, 100% y 47,62% de las plantas excedieron el rango de concentración normal. Con base en el análisis comparativo del contenido de metales pesados, el factor de bioconcentración y el factor de translocación en las plantas, *Polygonum capitatum* tiene una buena capacidad de fitoextracción, *Boehmeria nivea*, *Chrysanthemum indicum*, *Miscanthus floridulus*, *Conyza canadensis*, *Rubus setchuenensis*, *Senecio scandens* y *Arthraxon hispidus* mostraron notables capacidades de fitoestabilización de Cr, Cd, Ni y Cu, que pueden usarse como posibles candidatos de fitorremediación.

Liu et al. (2021) “La enmienda orgánica mejora el ambiente de la rizosfera y da forma a la comunidad bacteriana del suelo en suelos negros y rojos bajo estrés por plomo”, mencionan que la contaminación por metales pesados es un problema mundial que afecta la calidad de la producción agrícola y la salud humana. En este estudio, se utilizó sustrato de hongo gastado (SMS) y su compost (CSMS) para remediar el suelo negro y el suelo rojo con contaminación simulada de Pb, con el objetivo de descubrir su papel en la mejora del entorno de la rizosfera y la estructuración de la comunidad bacteriana de la rizosfera bajo estrés por plomo. Diseñamos un experimento de parcela a escala ultrapequeña para separar la rizosfera del suelo no rizosfera al plantar espinaca de agua (*Ipomoea aquatica* Forsk). Los resultados mostraron que bajo 600 mg/kg de contaminación por plomo, CSMS y SMS no tuvieron un efecto significativo en la diversidad bacteriana de la rizosfera en el suelo negro, pero CSMS aumentó significativamente la diversidad bacteriana de la rizosfera en el suelo rojo. Las enmiendas aumentaron significativamente el porcentaje de Proteobacteria y Bacteroidetes en el suelo rizosfera, y la abundancia relativa de algunos géneros beneficiosos, como *Pseudoxanthomonas*, *Rhizomicrobium*, *Lysobacter*, etc., que

posteriormente reestructuraron la comunidad bacteriana . Las composiciones de la comunidad bacteriana del suelo rojo remediado por ambas enmiendas evolucionaron a las del suelo negro.

Baruah et al. (2020) “Influencia del biocarbón y de las enmiendas orgánicas del suelo en la biodisponibilidad y la inmovilización del cobre y la aparición de cardo común en suelos franco arenosos ácidos” realizaron la aplicación de enmiendas para ayudar a alterar las propiedades fisicoquímicas del suelo y la biodisponibilidad de los metales. Se llevó a cabo un experimento en maceta utilizando una planta acumuladora de metales, la bardana común (*Xanthium strumarium* L.). La planta se cultivó en suelo contaminado con cobre (Cu) y plomo (Pb) a cuatro concentraciones diferentes de cada metal (150, 250, 300 y 350 mg kg⁻¹ de suelo). Las enmiendas del suelo biocarbón de madera dura (HWBC), estiércol de granja (FYM) y vermicompost (VC) se aplicaron a una tasa de 2,77 g kg⁻¹ . Las enmiendas fueron efectivas para mantener la salud de las plantas bajo exposición a metales. VC mejoró el índice de estabilidad de la clorofila y la biomasa seca de las plantas, que fue seguida por FYM y HWBC. La disminución de la actividad de la peroxidasa y la concentración de metales en los tejidos de las plantas bajo las enmiendas reveló su eficacia para reducir la toxicidad de los metales. La aplicación de VC redujo la concentración de Pb en la planta hasta en un 52,94%, mientras que FYM redujo la absorción de Cu hasta en un 30,03% por la planta. El estudio de especiación reveló la potencialidad de las enmiendas probadas para causar una reducción en la forma biodisponible de los metales. El orden de eficiencia para reducir la fracción intercambiable de Cu fue HWBC (29,2–69,0 %) > FYM (5,9–44,5 %) > VC (5,7–33,8 %). Sin embargo, para reducir la fracción intercambiable de Pb el orden fue VC (41,8–74,9 %) >

FYM (30,2–60,0 %) > HWBC (18,5–26,9 %). Se encontraron fracciones menos biodisponibles (excluyendo las intercambiables y las unidas a carbonato) de Cu y Pb máximas en la enmienda FYM y VC respectivamente, lo que indica una mayor eficacia de ellas para inmovilizar Cu y Pb en suelo franco arenoso ácido, lo que induce una reducción de la posibilidad de contaminación por metales en la cadena alimentaria.

Duarte-Zaragoza et al. (2020) señalan en su artículo científico que, a pesar de las regulaciones para mitigar los daños ambientales derivados de la minería, aún persisten depósitos de residuos mineros mal gestionados, generando graves impactos ambientales y riesgos a la salud pública debido a la presencia de metales tóxicos como el plomo y cobre. El objetivo principal del estudio fue explorar el potencial de *Prosopis laevigata* para acumular estos metales en pequeñas islas de vegetación situadas sobre depósitos mineros en Zimapán, Hidalgo, México. Metodológicamente, realizaron muestreos superficiales en tres depósitos mineros y colectaron muestras vegetales, caracterizando física y químicamente los residuos mediante procedimientos normativos y cuantificando los niveles de plomo y cobre en el follaje de *P. laevigata* mediante espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados demostraron que el depósito San Juan registró las mayores concentraciones de Pb (93.05 mg kg⁻¹) y Cu (52.46 mg kg⁻¹) en las hojas de *P. laevigata*, con factores de bioconcentración que la catalogan como hiperacumuladora de plomo y acumuladora eficiente de cobre. La conclusión enfatiza que esta especie es altamente adecuada para programas de revegetación en sitios contaminados por metales pesados debido a su capacidad para desarrollarse en condiciones extremas.

Felipe y Sánchez (2012) “Estudio de la absorción de plomo en suelos de la región minera en el distrito de Buenos Aires en el departamento del Cauca, Colombia”, en el estudio, se realizaron sobre isothermas de absorción para analizar el equilibrio de distribución del plomo en los suelos de la zona de influencia de la mina La Vetica, ubicada en el distrito minero de Buenos Aires, Departamento del Cauca. El objetivo fue determinar la capacidad de estos suelos para adsorber y retener plomo. Se evaluaron dos enfoques de absorción: el primero considera que el fenómeno ocurre en la primera capa superficial (superficie homogénea), tal como lo describen los modelos de Langmuir, Dubinin-Radushkevich y Frumkin; el segundo enfoque asume que la absorción se lleva a cabo en múltiples capas (superficie heterogénea), según lo describen las isothermas de Freundlich, Harkins-Jura y Temkin.

El modelo que mejor se ajustó al proceso de absorción fue la isoterma de Langmuir, cuya ecuación linealizada indicó una capacidad máxima de retención de plomo en el suelo, Q_0 , de 6,42 mg/g. Además, la energía de absorción, E , calculada a través de la ecuación de Dubinin-Radushkevich, fue de 15,81 kJ/mol. Este valor se encuentra en el rango de enlaces de tipo Van der Waals, lo que confirma que la absorción se produce mediante interacciones débiles.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Valle (2021) “Potencial biomimético del género *Polylepis* en la región central del Perú 2021”, menciona que los árboles del género *Polylepis* son uno de los recursos naturales endémicos más importantes de Perú y, en particular, de la Región Junín. Estos árboles ofrecen un valioso modelo biomimético del cual es posible extraer e imitar sus formas (morfología), procesos naturales (fisiología) y sistemas de adaptación. El objetivo de este estudio fue analizar el potencial

biomimético del género *Polylepis* en la Región Central de Perú. Para ello, se realizó una identificación taxonómica de la biomímesis de la copa, el fuste y la raíz de *Polylepis* en dicha región.

La investigación se clasificó como aplicada, de nivel exploratorio, y se basó en el método propuesto por el Biomimicry Institute, con un diseño no experimental y transversal. Las diversas adaptaciones y estrategias de las hojas del género *Polylepis* pueden inspirar el desarrollo de productos con tecnología crioprotectora, la creación de materiales que filtren la radiación solar y el diseño de viveros para zonas con temperaturas extremas. El fuste de *Polylepis* ofrece inspiración para diseñar productos impermeables, que prevengan la pudrición de materiales, y para desarrollar materiales con propiedades aislantes térmicas. Además, la estrategia biomimética de las raíces de *Polylepis*, que penetran en las rocas, puede aplicarse en la construcción de pilotes de anclaje y zapatas para edificaciones.

Este estudio sienta las bases para futuras investigaciones que puedan explorar diseños biomiméticos inspirados en los árboles del género *Polylepis*, contribuyendo así al desarrollo de bienes, servicios y tecnologías sostenibles.

Sarmiento y Febres (2021) “Recuperación de plomo en suelo agrícola contaminado artificialmente como estrategia de remediación mediante girasol y vermicompost”, menciona que la contaminación por plomo (Pb) es un problema ambiental que afecta negativamente la calidad de los suelos agrícolas, por lo que es crucial evaluar estrategias de remediación para su recuperación. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto del girasol (*Helianthus annuus*) y el vermicompost en la remediación de suelos agrícolas contaminados artificialmente con Pb. Los tratamientos evaluados fueron: T₁ (suelo con Pb,

vermicompost y girasol), T₂ (suelo con Pb y vermicompost), T₃ (suelo con Pb y girasol) y T₄ (suelo con Pb).

El valor inicial de Pb en el suelo era de 16.05 ppm, y se incrementó a 121.05 ppm mediante la adición de 105 ppm de Pb en forma de Pb(NO₃)₂, superando el estándar de calidad ambiental (ECA) nacional para suelos agrícolas, que es de 70 ppm de Pb. Todos los tratamientos lograron reducir la concentración de Pb en el suelo a niveles inferiores al ECA. El tratamiento T₂ fue el más efectivo, con una recuperación de Pb del 81.21%.

El factor de bioconcentración de Pb (FB) en la parte aérea y las raíces de las plantas de girasol (T₁ y T₃) fue inferior a uno, indicando que el girasol actúa como una especie vegetal excluyente. Según el factor de traslocación de Pb (FT), el girasol en presencia de vermicompost (T₁) se comportó como una planta fitoestabilizadora de Pb (FT < 1), mientras que en ausencia de vermicompost (T₃) demostró ser fitoextractora de Pb (FT > 1).

García y Vásquez (2020) “Identificación de especies vegetales con potencial para la remediación de suelos provenientes de pasivos ambientales mineros”, en el presente estudio se enfoca en la identificación de especies vegetales con potencial para la remediación de suelos afectados por pasivos ambientales mineros (PAM). Entre las especies más destacadas se encuentran *Paspalum bomplandianum*, que mostró una alta concentración de aluminio con 2 844.6 mg/kg, y *Lachemilla orbiculata*, que presentó la mayor concentración de magnesio con 1 912.5 mg/kg. Por su parte, *Bidens triplinervia* sobresalió por acumular plomo y zinc en concentraciones de 5 842 mg/kg y 11 514 mg/kg, respectivamente. *Lupinus ballanus* destacó por su capacidad para acumular cadmio con 287.3 mg/kg, mientras que *Cortaderia rudiusscula* Stapf. mostró la

mayor concentración de arsénico con 2 858 mg/kg. Además, *Juncus articus* Willd. presentó la mayor acumulación de manganeso con 1 743 mg/kg, y *Polylepis racemosa* registró la más alta concentración de cobre con 4 925.37 mg/kg.

Las especies vegetales identificadas fueron clasificadas según su tipo de fitorremediación, siendo caracterizadas como fitoextractoras y fitoestabilizadoras. Asimismo, se realizó una comparación entre las concentraciones de metales pesados en los suelos provenientes de los pasivos ambientales mineros y los Estándares de Calidad Ambiental Nacionales para Suelos Agrícolas, aprobados por el Decreto Supremo 011-2017-MINAM. Los resultados indicaron que las concentraciones de metales pesados en los suelos excedieron los límites permitidos por la normativa peruana.

Huerta (2019) “Evaluación de la biorremediación y fitorremediación para la absorción de Pb en suelos contaminados por relave minero”, concluye que las actividades mineras contribuyen significativamente a las economías de muchos países, incluyendo Perú, mediante la generación de importantes ingresos monetarios. Sin embargo, estas actividades no siempre son acompañadas por una gestión adecuada de los desechos que producen, conocidos como relaves mineros, los cuales contienen plomo y otros metales pesados. Con el tiempo, los elementos tóxicos de estos relaves, como el plomo, se liberan al ambiente a través de los ciclos biogeoquímicos, contaminando los suelos y representando un grave riesgo para el medio ambiente y la salud humana.

Para enfrentar esta problemática, se han implementado tecnologías de fitorremediación utilizando diversas especies de plantas forestales como *Polylepis racemosa*, *Eucalyptus globulus*, *Schinus molle*, *Acacia visco*, *Myoporum laetum*, y *Buddleja coriacea*, así como plantas herbáceas como

Amaranthus spinosus, *Fuertesimalva echinata*, *Lupinus ballianus*, *Solanum nitidum*, *Brassica rapa*, y *Urtica urens*. Estas especies han mostrado resultados positivos en la absorción de plomo.

Además, la biorremediación se presenta como una tecnología limpia y de bajo costo, que emplea microorganismos, como bacterias y hongos formadores de micorrizas. Estudios recientes han demostrado que los hongos micorrízicos tienen una notable capacidad para acumular plomo en las cepas de micorrizas, que son la simbiosis entre las raíces de plantas y el micelio de los hongos arbusculares.

El objetivo de este trabajo es presentar diversas opciones para la aplicación de técnicas de fitorremediación y biorremediación utilizando una amplia variedad de especies de plantas y hongos, tanto nativas de Perú como de otros países, con el fin de remediar y descontaminar los suelos afectados por la contaminación de relaves mineros.

Ttito (2021) “Efecto de la modificación química de la cáscara de papa (*Solanum tuberosum*) en la bioabsorción de Pb (II) en solución acuosa, Cusco 2021”, su investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la modificación química en la cáscara de papa (*Solanum tuberosum*) en la bioabsorción de Plomo en solución acuosa, Cusco 2021. El cual aplicó la metodología de tipo diseño experimental, el presente trabajo evaluó el efecto de la modificación química con ácido cítrico a la cáscara de papa (*Solanum tuberosum*), siendo un residuo orgánico que se genera en gran cantidad, para que sea utilizada como bioadsorbente del plomo en agua, para la cual se utilizaron soluciones de plomo preparadas en laboratorio.

Teniendo como resultados que trabajando con 0,2 g de cáscara de papa (*Solanum tuberosum*) modificada químicamente con ácido cítrico a 0,6 M para 10 ppm de plomo, se obtiene mejores resultados, llegando a un promedio de 90,08 % para un tiempo de contacto de 45 minutos, a diferencia de la cáscara de papa sin modificación química que alcanzó un porcentaje de 69,91 %.

Siendo las conclusiones que la modificación química de la cáscara de papa (*Solanum tuberosum*) tiene un efecto positivo para la bioabsorción del plomo, obteniéndose mejores resultados a comparación de la cáscara de papa sin modificar, alcanzando porcentaje altos con un tiempo de contacto de 45 minutos, utilizando 0.2 g de cáscara de papa modificada a 0,3 mm de tamaño de partícula, en agua simulada de plomo a concentración de 10 ppm.

Carrasco (2025) “Percepción de la contaminación por metales pesados y riesgos en la salud en la población de dos distritos en Cerro de Pasco”, la investigación que realizó tuvo como objetivos tuvo como objetivo conocer las representaciones sociales de la población sobre la contaminación por metales pesados y sus consecuencias biopsicosociales desde un enfoque cualitativo.

Para ello, se aplicaron técnicas cualitativas como grupos focales, entrevistas a profundidad y técnicas proyectivas. Los resultados indicaron que la percepción de la contaminación por metales pesados es alta y está naturalizada en el imaginario o representación social de la población de estos distritos.

Se encontró que los aspectos psicosociales difieren según el grupo etario: el sentimiento de indefensión y desesperanza es más acentuado en adultos y adultos mayores, mientras que niños y adolescentes son más optimistas y toleran las condiciones en las que viven.

Además, los grupos investigados consideran que las intervenciones del Ministerio de Salud (MINSA) para enfrentar la contaminación por metales pesados son insuficientes, mostrando disconformidad con la actitud de las autoridades locales y regionales por hechos de corrupción, indiferencia ante necesidades básicas insatisfechas como el derecho al consumo de agua saludable, y la percepción de ausencia de políticas claras para enfrentar la contaminación ambiental.

Como recomendación, se plantea la creación de mecanismos que permitan la participación de las poblaciones afectadas para enfrentar los riesgos asociados a la contaminación por metales pesados. Asimismo, se sugiere que el MINSA, a través de la Dirección Regional de Salud (DIRESA) Pasco, brinde atención y seguimiento a niños con altos niveles de metales pesados en el cabello y bajos niveles de coeficiente intelectual.

2.1.3. Antecedentes Locales

Rivera y Alarcon (2024) “Bioacumulación de Metales Pesados en las Especies: *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezná), *Bacharis tricuneata* (Taya) y *Epilobium tetragonum* (Adefillas) Adaptados en la Desmontera Rumiallana – Yanacancha – Pasco – 2023”, realizaron la investigación que tuvo como objetivo analizar la eficiencia de bioacumulación de Metales Pesados en tejidos de vegetación en las Especies: *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezná), *Bacharis tricuneata* (Taya) y *Epilobium tetragonum* (Adefillas) adaptados en la Desmontera de Rumiallana en la ciudad de Cerro de Pasco. El cual aplico la metodología tipo descriptivo porque se realizaron análisis de datos de la bioacumulación en las especies y se determinó cual acumula mayor cantidad de metales pesados y transversal porque se recolectarán muestras de las especies una

sola vez para su posterior análisis en sus estructuras (raíz, tallo y hojas). Teniendo como resultados que la especie *Epilobium traragonum* acumula mayor cantidad de metales en toda su estructura con 97.38 mg/kg, seguido por la *Euphorbia cyparissias* con 88,09 mg/kg y por último el *Bacharis tricuneata* (Taya) con 76.33 mg/kg.

Siendo las conclusiones que las tres especies acumulan mayor porcentaje de metales en sus raíces donde el metal más predominante es el Pb en la especie *Epilobium traragonum* acumula 40.54 mg/Kg en su raíz, también estas 3 especies se puede utilizar para la fitoinmovilización y fitoestabilización de estos contaminantes y se puede utilizar para la fitoextracción para metales como el Pb, Cd y Cu por acumular gran cantidad en sus partes cosechables de las tres especies.

Quispe (2020) “Fitorremediación con *Ricinus Communis* para el tratamiento de suelos”, en la investigación se tuvo como objetivo Proponer la fitorremediación con *Ricinus communis* para el tratamiento de suelos contaminados con plomo. El cual aplico la metodología tipo Experimental debido a que se estudia la variable X= (Fitorremediación con *Ricinus communis*) como causa y la variable Y= (Tratamiento de suelos contaminados con plomo) como efecto. Teniendo como resultados indican que el *Ricinus communis* fitorremedió mejor en suelos con concentración de plomo entre 243.90 mg/kg y 835.63 mg/kg de Pb; y además, para el tratamiento de 243.90 mg/kg de Pb se disminuye su concentración hasta niveles inferiores al Estándar de Calidad Ambiental para suelo DS N° 011-2017-MINAM, para Uso de Suelo Residencial y/o Parques. Finalmente, se realizó los cálculos correspondientes para hallar los factores de translocación y bioconcentración.

Siendo las conclusiones que el *Ricinus communis* es un fitorremediador del tipo fitoestabilizador; debido a que, limita la absorción del contaminante por la raíz y reduce la movilidad de este a otros tejidos de la planta; proponiendo esta planta para casos de contaminación de plomo en suelos que requiera de un tratamiento del tipo fitoestabilizador.

De la Cruz (2021) “Niveles de contenido de Plomo y Zinc en órganos no reproductivos de *Polylepis* sp. en tres localidades de Pasco”, menciona que los metales pesados son contaminantes significativos en los ecosistemas debido a su alto peso molecular, lo que les confiere efectos altamente nocivos tanto para la salud humana como para el medio ambiente. Una solución propuesta para la contaminación causada principalmente por la actividad minera es la fitorremediación, que implica la absorción de partículas de metales pesados por árboles forestales.

En este contexto, la tesis doctoral titulada "Niveles de Contenido de Plomo y Zinc en órganos no reproductivos de *Polylepis* Sp. en tres localidades de Pasco" investigó, en condiciones de laboratorio, la concentración de plomo y zinc en los árboles de la especie *Polylepis* sp., que fueron plantados con fines ornamentales en la ciudad de Pasco. El objetivo principal del estudio fue determinar los niveles de plomo y zinc en los órganos no reproductivos (hojas, tallo y raíces) de *Polylepis* sp.

Los resultados revelaron que la concentración de plomo en *Polylepis* sp. es de 103,80 ppm, distribuyéndose en 109,89 ppm en las hojas, 43,33 ppm en el tallo y 158,18 ppm en las raíces. En cuanto al zinc, se registraron niveles de 179,84 ppm en la especie, con 193,98 ppm en las hojas, 50,04 ppm en el tallo y 295,51 ppm en las raíces. Estos hallazgos sugieren que *Polylepis* sp. posee una

gran capacidad para absorber metales pesados como el plomo y el zinc, superando significativamente la capacidad de otras especies forestales.

2.2. Bases teóricas - científicas

2.2.1. El plomo

El plomo inorgánico es, sin duda, una de las toxinas ocupacionales más antiguas, con evidencias de intoxicación por plomo que datan de la época romana. Desde que la producción industrial de plomo comenzó hace al menos 5000 años, es probable que hayan ocurrido brotes de envenenamiento por plomo desde ese entonces. Estos episodios de intoxicación no se limitaron solo a los trabajadores que manejaban plomo, sino que la población en general también estuvo significativamente expuesta debido a diversos factores: la cerámica mal vidriada, el uso de soldadura de plomo en la industria de enlatado de alimentos, los altos niveles de plomo en el agua potable, el uso de compuestos de plomo en pinturas y cosméticos, y la deposición de plomo en cultivos y polvo proveniente de fuentes industriales y de vehículos automotores (ATSDR, 2024).

El plomo fue una causa importante de morbilidad y mortalidad durante la Revolución Industrial, y no fue sino hasta el trabajo pionero en salud ocupacional de Ronald Lane en 1949 que se estableció un control formal efectivo para los trabajadores expuestos al plomo. A pesar de la larga historia de toxicidad del plomo y su amplia documentación (es probablemente la toxina ocupacional más estudiada), uno podría pensar que la exposición al plomo está controlada y que el envenenamiento por plomo es solo un problema del pasado. Desafortunadamente, esto no es así (OMS, 2024).

Esta sustancia se acumula en el organismo y afecta varios sistemas corporales, como los sistemas cardiovascular, neurológico, hematológico,

digestivo y renal. Los niños son particularmente sensibles a los efectos neurotóxicos del plomo, y aun una exposición relativamente baja puede ocasionar daños neurológicos graves, en algunos casos irreversibles.

Aunque la exposición al plomo con las recomendaciones dadas OMS está generalmente bien controlada en las principales industrias que lo utilizan, como la fundición y la fabricación de baterías, aún existen sectores donde la intoxicación por plomo sigue ocurriendo ocasionalmente, como en la industria de la demolición. Un estudio reciente de Sen et al. mostró que la exposición significativa al plomo puede ocurrir en ocupaciones que normalmente no se consideran de riesgo. En dicho estudio, se observaron niveles significativos de plomo en sangre en trabajadores que montaban y desmontaban estructuras de acceso durante la renovación de estructuras previamente pintadas con plomo. Además, aunque la producción de alquiles de plomo (ahora principalmente tetraetilo de plomo) está disminuyendo rápidamente con el creciente uso mundial de gasolina sin plomo, la intoxicación por plomo orgánico aún se observa ocasionalmente en limpiadores de tanques que manejan depósitos de gasolina con plomo (OMS, 2024).

2.2.2. Ciclo natural del plomo (Pb)

El plomo puede originarse a partir de fuentes tanto antropogénicas como geogénicas, dispersándose con facilidad en la hidrosfera, la litosfera y la atmósfera (Moreno, 2018). Una vez liberado en la atmósfera, el plomo puede depositarse en la hidrosfera a través de la precipitación, integrándose al ciclo del agua, o en la litosfera. También puede ser inhalado por organismos vivos, incluidos los seres humanos, permitiendo su absorción y acumulación en el cuerpo. Desde la hidrosfera, el plomo puede ser absorbido por los peces y entrar

en la cadena trófica, o bien depositarse en el suelo, evaporarse de nuevo a la atmósfera o ser absorbido a través de la piel en su forma orgánica. Desde el suelo, el plomo puede transferirse al ser humano a través del polvo contaminado o mediante la ingestión, además de ser absorbido por plantas y animales, introduciéndose así en la cadena alimentaria. En el suelo, el plomo puede volatilizarse y regresar a la atmósfera, adsorberse en materia orgánica o arcillas, precipitar en forma de sales o minerales, transformarse en otros compuestos, o movilizarse hacia las aguas subterráneas (Moreno, 2018, p.8-9).

Las fuentes de plomo (Pb) se clasifican según su origen:

- Fuentes geogénicas: Incluyen erupciones volcánicas, incendios naturales, deposiciones, y productos de reacciones químicas o biológicas (Moreno, 2018, p.10).
- Fuentes antropogénicas: Proviene de actividades humanas como la agricultura, la industria, y las zonas urbanas. En el sector agrícola, se utilizan fungicidas, herbicidas o pesticidas que contienen plomo. En la industria, el plomo se emplea en la fabricación de baterías, cemento, tuberías, soldaduras, equipamiento para granjas, y elementos de joyería y cosméticos. Las principales fuentes industriales de plomo incluyen plantas de fundición, reciclaje de baterías y producción de pinturas para barcos y puentes. La contaminación antropogénica por plomo es considerablemente más significativa que la natural (Moreno, 2018, p.10).

2.2.3. Contaminación de suelos por plomo provocada por la industria minera

La actividad minera altera significativamente el suelo, generando anomalías biogeoquímicas, como el incremento de microelementos a niveles de

macroelementos, lo cual afecta de manera adversa la biota y la calidad del suelo. Este cambio perjudica la cantidad, diversidad y actividad de los organismos que habitan en el suelo, dificultando la descomposición de la materia orgánica.

Los suelos que resultan de las explotaciones mineras contienen una mezcla de materiales residuales y escombros, lo que plantea serios obstáculos para el crecimiento de la vegetación. Entre sus características destacadas se encuentran una textura desequilibrada, ausencia o deficiencia de estructura edáfica, propiedades químicas anormales, desequilibrio en nutrientes esenciales, ruptura de ciclos biogeoquímicos, escasa profundidad efectiva, dificultad para el enraizamiento, baja capacidad de intercambio catiónico, baja retención de agua y la presencia de compuestos tóxicos (FAO, 2024).

El impacto de la toxicidad de los metales en el suelo depende en gran medida de las características del suelo. Puga et al. (2006) señalan que la distribución y disponibilidad de los metales pesados en los perfiles del suelo están influenciadas por propiedades intrínsecas del metal y las características del suelo.

Los metales tienden a concentrarse en la superficie del suelo, lo que los hace accesibles para la absorción por las raíces de los cultivos (Puga et al., 2006). Las plantas cultivadas en suelos contaminados suelen absorber más oligoelementos, y la concentración de estos en los tejidos vegetales está a menudo directamente relacionada con su abundancia en el suelo, especialmente en la solución del suelo (Kabata-Pendias y Pendias, 2000). Según Puga et al. (2006), concentraciones excesivas de metales en el suelo pueden afectar la calidad de los alimentos, la seguridad en la producción agrícola y la salud del medio ambiente, ya que estos metales se trasladan a través de la cadena alimentaria, desde las plantas a los animales y, finalmente, a los humanos.

Los metales acumulados en la superficie del suelo se reducen lentamente a través de procesos como la lixiviación, la absorción por plantas, la erosión y la deflación (Puga et al., 2006).

Los metales acumulados en la superficie del suelo se reducen lentamente mediante la lixiviación, el consumo por las plantas, la erosión y la deflación (Puga et al., 2006).

2.2.4. Toxicidad del plomo sobre la salud humana

El plomo inorgánico es uno de los tóxicos ocupacionales más antiguos, con evidencia de casos de envenenamiento por plomo que se remontan a épocas anteriores a la era cristiana. La producción industrial de plomo comenzó hace al menos 5000 años, por lo que es probable que los brotes de envenenamiento por plomo ocurrieran desde entonces. Hipócrates, en el año 370 a.C., describió un ataque severo de cólico en un trabajador metalúrgico, y en el siglo II a.C., Nicandro describió la relación entre el estreñimiento, cólico, palidez y parálisis con la acción del plomo en el cuerpo. Plinio, en el año 23-79 d.C., mencionó que el envenenamiento por plomo era conocido en su época y que los trabajadores del plomo cubrían sus rostros con bolsas sueltas para evitar inhalar el polvo perjudicial. Dioscórides, en el año 100 d.C., sabía que la ingestión de compuestos de plomo causaba cólicos, parálisis y delirios, y más tarde Ramazzini observó que los alfareros que trabajaban con plomo desarrollaban temblores en las manos que posteriormente se convertían en parálisis. Vernatti, en 1678, probablemente registró el primer caso de envenenamiento por plomo entre los trabajadores de plomo blanco en Inglaterra. La población en general también podía estar expuesta a cantidades significativas de plomo debido a la mala calidad del esmalte en la cerámica, el uso de soldadura de plomo en la industria de conservas, altos niveles

de plomo en el agua potable, el uso de compuestos de plomo en pinturas y cosméticos, y la deposición en cultivos y polvo de fuentes industriales y vehículos de motor (Vilca, 2023).

A pesar de todo esto, el control formal efectivo de los trabajadores expuestos al plomo no ocurrió hasta el trabajo pionero en salud ocupacional de Ronald Lane en 1949. Lane afirmó que la única forma de prevenir el envenenamiento por plomo es hacer que el proceso sea seguro. También enfatizó la importancia de educar a los trabajadores sobre los peligros de su trabajo y de su responsabilidad en los programas de seguridad.

Dado el largo historial de toxicidad del plomo y las numerosas publicaciones al respecto, se podría suponer que la exposición al plomo está bien controlada y que el envenenamiento por plomo debería ser de interés histórico. Desafortunadamente, no es así, y aún existen industrias donde ocasionalmente ocurre envenenamiento clínico por plomo. Es crucial recordar que la exposición significativa al plomo puede ocurrir en ocupaciones que no se consideran de riesgo. El objetivo de este documento es revisar la evidencia más reciente sobre la toxicidad del plomo y discutir la legislación actual y futura para la protección de los trabajadores expuestos al plomo en la industria (OMS, 2024).

A. Toxicidad reproductiva

A niveles muy altos de plomo en sangre, el plomo es un abortivo potente. A niveles más bajos, se ha asociado con abortos espontáneos y bajo peso al nacer. En las mujeres, la exposición ocupacional que resulta en niveles de plomo en sangre superiores a 10 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ se asocia con un mayor riesgo de aborto espontáneo, parto prematuro y bajo peso al nacer. En los hombres, niveles de plomo en sangre superiores a 40 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ pueden estar

relacionados con baja libido, bajo volumen de semen, disminución del conteo de espermatozoides, aumento de la morfología anormal del espermatozoide y disminución de la motilidad espermática, lo que lleva a una disminución de la función reproductiva. Sin embargo, muchos estudios no han tenido en cuenta factores potenciales como la exposición a otras sustancias ocupacionales, el consumo de alcohol y tabaco, o el uso de medicamentos.

B. Neurotoxicidad

La encefalopatía aguda puede ocurrir en niños a concentraciones de plomo en sangre de 80–100 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ y en adultos a concentraciones de 100–120 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$. Los síntomas incluyen irritabilidad, agitación, dolores de cabeza, confusión, ataxia, somnolencia, convulsiones y coma. La neuropatía motora periférica se observa como resultado de la exposición crónica a niveles altos de plomo, y aunque existe cierta evidencia contradictoria, se ha demostrado una reducción en la velocidad de conducción nerviosa periférica a niveles de plomo en sangre más bajos, con un umbral sugerido de 30 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$. Los efectos neuroconductuales, como trastornos en el tiempo de reacción, rendimiento visual-motor, destreza manual, coeficiente intelectual, ansiedad y estado de ánimo, se han observado en trabajadores expuestos al plomo con niveles de plomo en sangre superiores a 40 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$.

C. Carcinogenicidad

El plomo inorgánico ha sido clasificado por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) como un carcinógeno del Grupo 2A (probablemente carcinogénico para los humanos). Estudios han mostrado un pequeño exceso de cánceres de pulmón en trabajadores expuestos al plomo,

aunque puede haber factores de confusión como el tabaquismo. También se ha sugerido un exceso de cánceres renales, aunque los excesos han sido muy pequeños y muy cercanos a los niveles esperados.

D. Efectos en la presión arterial

En un entorno ocupacional, el efecto de la exposición al plomo sobre la presión arterial sigue siendo controvertido. Algunos estudios han mostrado una correlación más fuerte con los niveles de plomo en hueso. A pesar de la investigación, no hay evidencia clara de un impacto adverso del plomo en trabajadores con niveles de plomo en sangre por debajo de 40 µg/100 ml.

E. Función renal

La exposición a niveles altos de plomo puede causar daño tubular renal, y algunos estudios han mostrado una correlación lineal entre los niveles de plomo en sangre y la disfunción renal a niveles de plomo en sangre en el rango de <40 a >70 µg/100 ml.

F. Efectos inmunológicos

El plomo parece reducir la resistencia a las infecciones y aumentar la mortalidad en animales de experimentación. Algunos estudios han mostrado cambios inmunológicos en trabajadores con niveles de plomo en sangre superiores a 50 µg/100 ml, pero no se han observado cambios significativos en trabajadores con niveles de plomo en sangre inferiores a 50 µg/100 ml.

G. Efectos endocrinos

Los niños con niveles de plomo en sangre crónicamente altos pueden mostrar impedimentos en la conversión de la vitamina D en su forma hormonal, lo que podría afectar el crecimiento celular y el desarrollo de dientes y huesos.

H. Efectos del desarrollo

La exposición prenatal a niveles relativamente bajos de plomo en sangre puede aumentar el riesgo de bajo peso al nacer y parto prematuro, y puede estar asociada con un aumento del riesgo de anomalías menores en el desarrollo.

I. Efectos hematológicos

El plomo afecta la síntesis del hemo al inhibir enzimas en varias etapas de la vía de síntesis del hemo. La exposición aguda a niveles altos de plomo se ha asociado con anemia hemolítica, mientras que la anemia por intoxicación crónica por plomo es hipocrómica y normocítica o microcítica.

J. Toxicocinética

Se ha demostrado que el polimorfismo genético tiene un impacto en los niveles de plomo en sangre de un individuo. Los estudios han mostrado que ciertos alelos están asociados con niveles más altos de plomo en sangre.

K. Plomo orgánico

El uso de plomo orgánico está disminuyendo, especialmente con la desaparición del uso de alqueros de plomo en la gasolina. La exposición es rara, pero puede ocurrir en trabajadores que limpian tanques de almacenamiento que han contenido gasolina con plomo. La intoxicación por plomo orgánico es principalmente una toxina del sistema nervioso central que produce psicosis tóxica aguda (Gidlow, 2015).

L. Legislación

En el nuestro país, El 15 de julio de 2003, se emitió un Decreto Supremo que determina el valor límite anual de concentración de plomo, en

conformidad con el artículo 5 del Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, que aprobó los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire.

2.2.5. Género *polylepis*

A. Caracteres morfológicos del género

a. Aspectos generales

Las especies del género *Polylepis* son arbustos o árboles que pueden alcanzar alturas que varían entre 1 y 27 metros. Las especies que crecen en altitudes más bajas, como *Polylepis multijuga* y *Polylepis pauta*, tienden a ser árboles de gran altura. En cambio, las especies que se desarrollan a mayores altitudes, alrededor de los 3,800 metros sobre el nivel del mar, suelen ser árboles de tamaño reducido o arbustos. Por ejemplo, *Polylepis besseri* y *Polylepis pepeii*, que se encuentran a elevaciones superiores a los 4,000 metros sobre el nivel del mar, son principalmente arbustivas. Sin embargo, *Polylepis tomentella* mantiene su forma arborescente incluso en altitudes cercanas a los 5,200 metros sobre el nivel del mar (Simpson, 1979).

Figura 2 Área verde de la UNDAC.



Fuente: Elaboración propia

b. Cortezas

La corteza externa de las especies del género *Polylepis* se caracteriza por ser delgada, membranosa o parecida al papel, y presenta un color que varía entre rojizo y marrón amarillento. Esta corteza se desprende de manera continua en capas finas, según lo descrito por León (1988) y Renel (1988). Su espesor puede llegar a ser de hasta 3 cm, lo que le proporciona una función aislante, protegiendo a la planta tanto de las heladas nocturnas como de la intensa radiación solar durante el día (Simpson, citado por Lao et al., 1990, p.49).

Figura 3 Se muestra la corteza del *Polylepis*.



Fuente: Elaboración propia

c. Ramas

Las ramas y tallos del género *Polylepis* suelen ser curvados y retorcidos. Esta forma característica se asocia con su adaptación a ambientes fríos, expuestos al viento y a la sequía. El patrón de ramificación de estas plantas sigue un crecimiento simpodial, donde las ramas son largas, a menudo sin hojas en gran parte de su extensión, con las hojas agrupadas en los extremos. Aunque las hojas emergen de los lados de las ramas, a menudo dan la impresión de estar dispuestas en verticilos debido a su denso agrupamiento en los nudos (Lao et al., 1990, p.50).

Figura 4 *Ramas del género polypelis.*



Fuente: Elaboración propia

d. Vainas estipulares

Cada hoja de *Polylepis* está formada por un par de hojas fusionadas alrededor de la rama, creando una especie de vaina. La superposición de estas vainas da lugar a una estructura de conos invertidos que se apilan unos sobre otros. Es importante considerar la presencia, ausencia, y el tipo de tricomas (pelos) que se extienden a lo largo de la superficie superior del peciolo, en la superficie interna de las vainas, y que sobresalen de la parte superior de estas. Estos tricomas son clave para distinguir entre diferentes especies. Las hojas y vainas jóvenes suelen ser mucho más pubescentes que las vainas más viejas. Cuando las hojas se

desprenden, queda visible el peciolo en el punto de inserción del par de foliolos basales y la vaina persistente en la rama (Lao et al., 1990, p.50).

e. Hojas y foliolos

Todas las especies del género de *Polylepis* tienen hojas compuestas imparipinnadas, pero el número de pares de foliolos varía entre las especies. Dentro de un rango de uno o dos pares, el número de foliolos es una característica útil para distinguir las especies (Lao et al., 1990, p.50).

f. Inflorescencia y flores

Las inflorescencias en la mayoría de las especies del género *Polylepis* son largas y se sostienen en pedúnculos, a excepción de *P. tomentosa* y *P. pepeii*, cuyas inflorescencias son más pequeñas y se encuentran ocultas en la axila de las hojas.

Todas las flores de *Polylepis* están rodeadas por una bráctea. Además, estas flores presentan características que facilitan la polinización por el viento: no tienen pétalos, sus sépalos son de color verde y no producen néctar. Las especies con inflorescencias cortas tienden a crecer en áreas con mucho viento, lo que favorece este tipo de polinización. (Lao et al., 1990, p.50).

g. Frutos

Los frutos de las especies de *Polylepis* se desarrollan a partir de una copa floral que se fusiona con el ovario. Estos frutos no se abren al madurar y contienen una única semilla.

Además, los frutos poseen espinas que facilitan su dispersión a través de animales. Es probable que las aves que anidan en estos árboles transporten los frutos, ya que pueden quedar enganchados en sus plumas.” (Lao et al., 1990, p.50).

B. Ecología

El género *Polylepis* se encuentra comúnmente en Perú a altitudes que oscilan entre los 2,800 y 4,800 metros sobre el nivel del mar (Lao et al. 1990, p.51). Es una de las pocas especies arbóreas que habitan en la puna, a veces en proximidad a las nieves perpetuas de la cordillera de los Andes, estableciendo así el límite altitudinal para las especies altoandinas. Debido a ello, puede mantener su actividad biológica en suelos con temperaturas tan bajas como 4 °C.

Generalmente, *Polylepis* crece en laderas con poca exposición directa y donde la neblina es frecuente. En bosques residuales, es común que se presente en masas homogéneas, ocupando suelos ricos en materia orgánica, producto de los propios árboles.

Este género presenta una notable resistencia a la sequía, adaptándose a un rango de precipitación que varía entre 250 y 2000 mm anuales, distribuidos a lo largo de 6 a 7 meses (Lao et al. 1990, p.51). Los suelos donde se desarrolla *Polylepis* pueden ser superficiales con afloramientos rocosos en laderas pedregosas protegidas, así como en valles y quebradas con suelos profundos. Se adapta a suelos residuales de areniscas en topografías quebradas, demostrando una rusticidad tal que puede crecer incluso en grietas

rocosas. Prefiere suelos ligeramente ácidos y con textura media (Lao et al. 1990, p.51).

C. *Polylepis* en suelos degradados

Los suelos montañosos o alto altoandinos donde se tiene poca presencia de formación del suelo propiamente dicho, han sufrido la pérdida de su cobertura vegetal debido a la explotación minera, incendios o la presión del pastoreo, tienden a erosionarse más fácilmente, lo que acelera su degradación y disminuye su fertilidad. Esta degradación del suelo hace que la restauración de áreas verdes y bosques nativos sea más difícil, resultando en bajas tasas de regeneración natural y un crecimiento lento en las áreas reforestadas. Se utilizó como especie modelo a *Polylepis australis*, un árbol comúnmente empleado en proyectos de restauración en las montañas o alto andinas. En una zona de restauración con suelos degradados, aplicamos siete tratamientos diferentes: tres dosis de fertilizante NPK triple 15 (25, 34 y 67 gramos), tres dosis de urea (10, 20 y 30 gramos), y un tratamiento de control sin fertilizante. A los 14 meses de la plantación, la tasa de supervivencia fue del 80%, sin diferencias significativas entre los distintos tratamientos de fertilización. Sin embargo, los plantines fertilizados con NPK crecieron, en promedio, cinco veces más que los que no recibieron fertilizante y más del doble que aquellos fertilizados con urea. No hubo diferencias significativas en el crecimiento entre los plantines sin fertilizante y los fertilizados con urea. Estos resultados sugieren que los suelos degradados presentan una deficiencia de nitrógeno (N), fósforo (P) o potasio (K),

que pudo corregirse con cualquiera de las dosis de NPK, pero no con la adición de urea, que solo contiene nitrógeno. Concluimos que, en suelos montañosos o alto andinas degradadas, la adición de nutrientes al momento de la plantación puede ser una estrategia efectiva para aumentar la cobertura arbórea en menos tiempo, contribuyendo así a reducir la erosión del suelo más rápidamente (Rocabado, Sparacino, Torres, Díaz, y Renison, 2023).

2.3. Definición de términos básicos

A. Absorción

Es el proceso mediante el cual una sustancia tóxica penetra las membranas celulares de un organismo a través de la piel, los pulmones, el sistema digestivo o las branquias, y posteriormente se distribuye a otros órganos del cuerpo (MINAM - Ministerio del Ambiente, pág. 3).

B. Áreas verdes

Estos espacios son fundamentales en una institución educativa porque ayudan a los estudiantes a concentrarse mejor en sus actividades al proporcionarles un ambiente de calma y serenidad. Este entorno positivo también promueve una mayor conciencia ambiental y ecológica entre los alumnos.

C. Bioacumulación

Es la concentración acumulada en el ambiente o en los tejidos de los organismos, resultante de la absorción, distribución y eliminación de contaminantes que ingresan al organismo a través de diversas vías de exposición, como el aire, el agua, el suelo, los sedimentos y los alimentos (MINAM - Ministerio del Ambiente, pág. 4)

D. Biodisponibilidad

Propiedad de las sustancias tóxicas que refleja su capacidad para entrar en los organismos a través de procesos como la inhalación, ingestión o absorción. Esta capacidad está influenciada por diversos factores, como las vías de exposición, las características fisiológicas del organismo receptor y las propiedades químicas del xenobiótico (MINAM - Ministerio del Ambiente, pág. 5)

E. Concentración

La proporción en la que una sustancia se encuentra disuelta o mezclada dentro de una cantidad específica de otra sustancia (MINAM - Ministerio del Ambiente, pág. 6)

F. Contaminación

Es el traslado de una sustancia química o una combinación de sustancias a un lugar no deseado (como el aire, el agua o el suelo), donde puede causar efectos perjudiciales para el medio ambiente o la salud (MINAM - Ministerio del Ambiente, pág. 6).

G. Contaminante

Cualquier sustancia química que no es propia del suelo o que se encuentra en una concentración superior a los niveles naturales, lo que podría provocar efectos perjudiciales para la salud humana o el medio ambiente (MINAM - Ministerio del Ambiente, pág. 7)

H. Fitoextracción

Es el proceso en el cual las plantas absorben metales pesados del suelo y los acumulan en sus partes aéreas (Sun y Zhou, 2008).

I. Fitorremediación

La fitorremediación es una tecnología que utiliza plantas para limpiar o recuperar ambientes contaminados con metales pesados, mediante procesos bioquímicos (Asto y Avila, 2023)

J. Plomo

Elemento químico metálico con número atómico 82, que es de color gris azulado, dúctil, pesado, maleable, resistente a la corrosión y muy blando. Es poco abundante en la corteza terrestre y se encuentra en minerales como la galena, anglesita y cerusita. Se utiliza en la fabricación de tuberías, como aditivo antidetonante en la gasolina, en la industria química y de armamento, y como protección contra radiaciones (Real Academia Española, s.f., definición 1).

K. Remediación

Actividad o conjunto de actividades realizadas en un sitio contaminado con el objetivo de eliminar o disminuir los contaminantes, garantizando así la protección de la salud humana y la preservación de los ecosistemas (MINAM - Ministerio del Ambiente, pág. 15)

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

H0: La capacidad promedio de absorción de plomo en el género *Polylepis* presente en las áreas verdes de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión no presenta diferencias significativas con respecto a la capacidad promedio de absorción de plomo de los árboles del mismo género ubicados en el distrito de Yanacancha.

H1: La capacidad promedio de absorción de plomo en el género *Polylepis* presente en las áreas verdes de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión es significativamente diferente respecto a la capacidad promedio de absorción de plomo de los árboles del mismo género ubicados en el distrito de Yanacancha.

2.4.2. Hipótesis específicas

- El género *Polylepis* tiene concentraciones de absorción de plomo en su raíz, tallo y hojas en el área verde de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
- El suelo presenta concentraciones de plomo en el área verde de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

2.5. Identificación de las variables

2.5.1. Variable independiente

Género *Polylepis*

2.5.2. Variable dependiente

Concentración de la absorción de plomo

2.5.3. Variable interviniente

Suelo del área verde de la UNDAC

2.6. Definición operacional de variables e indicadores.

Título: Análisis de la concentración de la absorción de plomo en el género *Polylepis* en el área verde de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco - 2023

Tesista: SOLIS CANTA, Steffany Susan

Variable según nivel investigativo	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicador	Unidad	Tipo de variable	Instrumento de medición
Variable Independiente Género <i>Polylepis</i>	“Todas las especies del género <i>Polylepis</i> son árboles o arbustos, que alcanzan una altura que van de entre 1 a 27 m” (Simpson, citado por Lao, Zevallos, y De La Cruz, 1990, p.49).	Identificar las partes de la planta (hojas, tallo y raíces) para determinar la concentración de plomo en cada una mediante análisis en laboratorio.	Planta (parte aérea – raíz)	Órganos de análisis: hojas, tallo, raíces.	adimensional	Variable cualitativa	Cadena de custodia, Ficha de muestreo, papel Kraft, balanza, bolsas de polietileno, GPS, cámara fotográfica, guantes descartables, mascarillas, guardapolvo y herramientas manuales.
Variable Dependiente Concentración de la absorción de plomo	<p>“La concentración es la relación de una sustancia disuelta o contenida en una cantidad dada de otra sustancia” (MINAM - Ministerio del Ambiente, pág. 6)</p> <p>La absorción es el proceso mediante el cual un tóxico ingresa al organismo a través de tejidos biológicos (MINAM - Ministerio del Ambiente, 2016).</p>	<p>Determinar la concentración de Pb en hojas, tallo y raíces mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica y calcular el Factor de Bioacumulación (FBC).</p>	Absorción – Translocación	<p>[Pb] hojas [Pb] tallo [Pb] raíz</p> <p>FBC = [Pb] planta / [Pb] suelo</p>	<p>mg/kg</p> <p>adimensional</p>	Variable Numérica – Cuantitativa	Instrumentos utilizados según el laboratorio que realizará el análisis (Espectrofotometría de Absorción Atómica).
Variable Interviniente Suelo del área verde de la UNDAC.	El suelo es la matriz ambiental que actúa como medio de disponibilidad del plomo para la planta, determinando su concentración mediante procesos de contaminación minera y pasivos ambientales (MINAM, 2016).	Utilizar un valor referencial de concentración como condición ambiental que influye en la absorción de plomo del género <i>Polylepis</i> .	Concentración referencial de plomo	[Pb] del suelo (valor referencial)	mg/kg	Variable cualitativa contextual - interviniente	Informe técnico previo (Ramos, 2019) — no analizado en el presente estudio por ser variable interviniente.

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

La investigación actual adopta un enfoque mixto, combinando métodos cuantitativos y cualitativos (Hernández, Fernández, y Baptista, 2015).

El enfoque cuantitativo se emplea para recolectar datos que permiten verificar y comprobar las hipótesis formuladas, utilizando mediciones numéricas y análisis estadísticos (Hernández et al., 2015).

Por otro lado, el enfoque cualitativo se utiliza para recolectar datos no numéricos, con el objetivo de responder preguntas de investigación a través de la interpretación de la información (Hernández et al., 2015).

Se puede concluir que la presente investigación es mixta, el enfoque cuantitativo se basa en el análisis estadístico de datos numéricos obtenidos en campo para evaluar las hipótesis, mientras que el enfoque cualitativo permite interpretar datos de campo y bibliográficos para determinar si la planta estudiada es eficaz en la absorción de plomo en su parte aérea comparado con sus raíces, característica de una planta fitoextractora.

3.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación es de tipo descriptivo, lo que implica la especificación de propiedades, características y aspectos relevantes de los fenómenos estudiados. (Hernández et al., 2015). En este estudio se describen e interpretan los niveles de plomo acumulados en las partes de la planta del género *Polylepis*. El análisis del suelo se considera únicamente como valor referencial, tomado de antecedentes técnicos, debido a que constituye una variable interviniente. Por ello, el estudio se centra principalmente en describir la capacidad de absorción de plomo del *Polylepis* en las áreas verdes de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco – 2023.

3.3. Métodos de investigación

3.3.1. Métodos de muestreo y análisis

Muestreo de la planta y suelo:

En el presente estudio, la selección de las muestras se realizó mediante muestreo no probabilístico por criterio (Supo 2015) de manera que cada planta fue escogida por su estructura dasométrica, coloración adecuada y desarrollo normal de la planta, lo que asegura un criterio técnico adecuado, aunque no estadístico.

- Se recolectaron muestras de hojas, tallos y raíces del género *Polylepis* ubicadas en las áreas verdes de la UNDAC.
- Se utilizó un valor referencial tomado de la tesis de Ramos (2019), quien reportó concentraciones superiores a 350 mg/kg de plomo en la Desmontera Rumiallana, zona colindante al campus universitario y sometida a la misma influencia geológica y pasivos ambientales.

Análisis de plomo:

Se empleo la técnica de espectroscopía de absorción atómica para determinar la concentración de plomo en las muestras (parte aérea y raíz) de la planta del Género *Polylepis*. Los análisis fueron realizados en laboratorio siguiendo los procedimientos establecidos por la metodología instrumental correspondiente.

Cálculos del Factor de Bioacumulación (FB):

Para evaluar la eficiencia del género *Polylepis* en la absorción de plomo, se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Factor de Bioacumulación} = \frac{\text{Concentracion de Plomo en la Planta}}{\text{Concentracion de Plomo en el suelo}}$$

Este cálculo determinar la capacidad bioacumuladora del género *Polylepis* en relación con la disponibilidad del metal en el suelo.

3.4. Diseño de investigación

El diseño de esta investigación es no experimental transversal descriptivo, ya que los datos se recolectaron en un solo momento sin modificar las variables. Las muestras de las plantas del Género *Polylepis* se tomaron en campo sin alteraciones y en un periodo específico.

3.5. Población y muestra

3.3.2. Población

La población, o universo, se define como el conjunto de todos los casos que cumplen con ciertas características específicas (Hernández et al., 2015). En esta investigación, la población está constituida por 68 plantas del Género

Polylepis situadas en las áreas verdes de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

Figura 5 *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.*



Fuente: Google Hearth

Tabla 1 *Ubicación de la zona de estudio.*

Zona:	18 L
Coordenada Este:	362869.00 m E
Coordenada Norte:	8820351.00 m S

Fuente: Google Hearth

3.3.3. Muestra

La muestra es un subgrupo de la población donde cada elemento tiene la misma probabilidad de ser seleccionado (Hernández et al., 2015). En esta

investigación, las muestras se tomaron específicamente en las áreas verdes dentro de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

La muestra consta en dos muestras del género *Polylepis* segmentados en hojas, tallo y raíces, haciendo un total de 6 valores de concentración de plomo en (mg/kg) en las áreas verdes de la universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La recolección de datos se realizó mediante técnicas de campo y de laboratorio. Posteriormente, los datos obtenidos fueron organizados y sistematizados mediante:

- Codificación textual de datos: Proceso mediante el cual se ordenó y clasificó la información recolectada para construir los cuadros y tablas del estudio.
- Interpretación de datos: Una vez sistematizados, los datos fueron analizados considerando el contexto ambiental del área de estudio y los objetivos planteados en la investigación.

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

A. Procedimiento de selección: Las muestras del Género *Polylepis* se seleccionaron considerando la estructura dasométrica, coloración adecuada y desarrollo normal de la planta, garantizando que las muestras representen individuos saludables del área estudiada.

B. Procedimiento de validación: La validación de los datos fue realizada por el asesor de la investigación.

C. Procedimiento de confiabilidad de los instrumentos de investigación: La confiabilidad de los instrumentos de investigación fue comprobada por la unidad de investigación de la UNDAC.

3.8. Técnicas de procesamientos y análisis de datos

Las técnicas utilizadas para el procesamiento y análisis de los datos recolectados se presentan en la Tabla 2, que detalla los procedimientos, técnicas e instrumentos empleados tanto para el muestreo de la planta *Polylepis* como para el análisis de la concentración de plomo en sus tejidos.

Tabla 2 *Técnicas e Instrumentos para la recolección de datos.*

OBJETIVO	PROCEDIMIENTO	TÉCNICA	INSTRUMENTO
Género <i>Polylepis</i> .	Recolección de datos de campo.	Muestreo de planta (observacional)	Cadena de custodia, papel kraft, GPS, cámara fotográfica, caja de tecnopor, guantes descartables, mascarillas, guardapolvo, lentes de seguridad y herramientas manuales.
Concentración de absorción del metal pesado plomo en el Género <i>Polylepis</i> .	Ensayos de laboratorio.	Espectrofotometría de Absorción Atómica.	Instrumentos utilizados según el laboratorio que realizó el análisis.

Fuente: Elaboración propia.

3.9. Tratamiento estadístico

Se utilizó el software Microsoft Excel para almacenar los datos recolectados en el campo, analizar estos datos y generar los cuadros y gráficos con los promedios necesarios para presentar los resultados.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

Este trabajo de investigación se centra en el "Análisis de la concentración de absorción de plomo en el género *Polylepis* en el área verde de la Universidad

Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco – 2023". El cual fue desarrollado respetando los principios éticos de integridad, transparencia y responsabilidad científica.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

El trabajo de campo se realizó en las áreas verdes de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión (UNDAC), lugar donde se identificaron ejemplares del género *Polylepis* con características adecuadas para el estudio (estructura dasométrica completa, coloración normal y desarrollo vegetativo saludable).

Se seleccionaron dos individuos y se procedió a la recolección de muestras diferenciadas por partes de la planta: hojas, tallos y raíces. Cada una fue obtenida siguiendo los procedimientos establecidos en la cadena de custodia, utilizando guantes, herramientas manuales y empaques adecuados para evitar contaminación cruzada. Las muestras fueron rotuladas y almacenadas en condiciones controladas, para luego ser trasladadas al laboratorio donde se determinó la concentración de plomo mediante espectroscopía de absorción atómica.

En cuanto al suelo, no se realizó un muestreo directo porque su función dentro del estudio corresponde a una variable interveniente. Por ello, se empleó un valor referencial previamente reportado por Ramos (2019), quien registró concentraciones superiores a 350 mg/kg en suelos de la Desmontera Rumiallana, zona colindante al campus universitario y sometida a las mismas condiciones geológicas y ambientales. Este valor (380 mg/kg) fue utilizado como referencia para el cálculo del factor de bioacumulación.

El trabajo de campo permitió obtener las muestras necesarias para evaluar la distribución del plomo dentro de las partes del *Polylepis* y determinar su capacidad de absorción en relación con el valor referencial del suelo.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.

- Analizar la capacidad de absorción de plomo en el género *Polylepis* en el área verde de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco – 2023.

Se procesaron en el laboratorio las muestras, y en caso del suelo su análisis no formó parte directa del presente estudio debido a que constituye una variable interveniente. Sin embargo, para interpretar el comportamiento de bioacumulación fue necesario contar con un valor de referencia. En consecuencia, el valor de 380 mg/kg se emplea como un valor referente, para calcular el factor de bioacumulación, ya que esto nos ayudará a determinar la capacidad de absorción de plomo.

Por lo tanto, la tabla N°3 presenta la concentración de plomo en diferentes partes del género *Polylepis* y el correspondiente factor de bioacumulación. La concentración promedio de plomo en el suelo es de 380 mg/kg, mientras que en las hojas es de 8.7 mg/kg, en los tallos de 9.8 mg/kg y en las raíces de 4.2 mg/kg. El factor de bioacumulación, que indica la

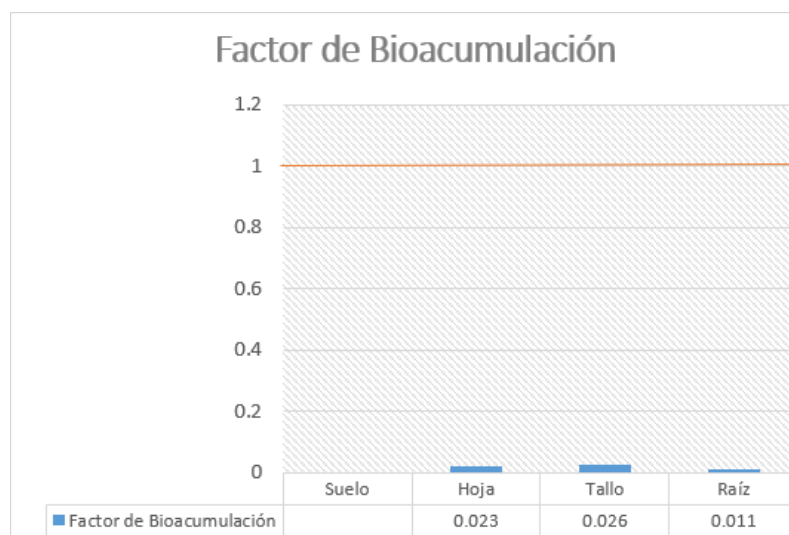
capacidad de la planta para acumular plomo en comparación con su concentración en el suelo, es de 0.023 para las hojas, 0.026 para los tallos y 0.011 para las raíces. Estos datos revelan que los tallos del género *Polylepis* tienen una ligera ventaja en la acumulación de plomo respecto a las hojas y raíces, aunque todos los valores de bioacumulación son relativamente bajos, indicando una moderada capacidad de la planta para absorber y concentrar plomo del suelo contaminado.

Tabla 3 *Concentración de Plomo en el género Polylepis y en el Suelo.*

Muestra	Concentración de Plomo (mg/kg)	Factor de Bioacumulación
Suelo	380	
Hoja	8.7	0.023
Tallo	9.8	0.026
Raíz	4.2	0.011

Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. *Factor de Bioacumulación*



Fuente: Elaboración propia.

En la figura se observa los valores del factor de bioacumulación del plomo en la parte hoja= 0.023, tallo=0.026 y raíz=0.011, pero ninguno es mayor a 1.

- Determinar la concentración de absorción de plomo en el género *Polylepis* en las diferentes partes de la planta en el área verde de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco – 2023.

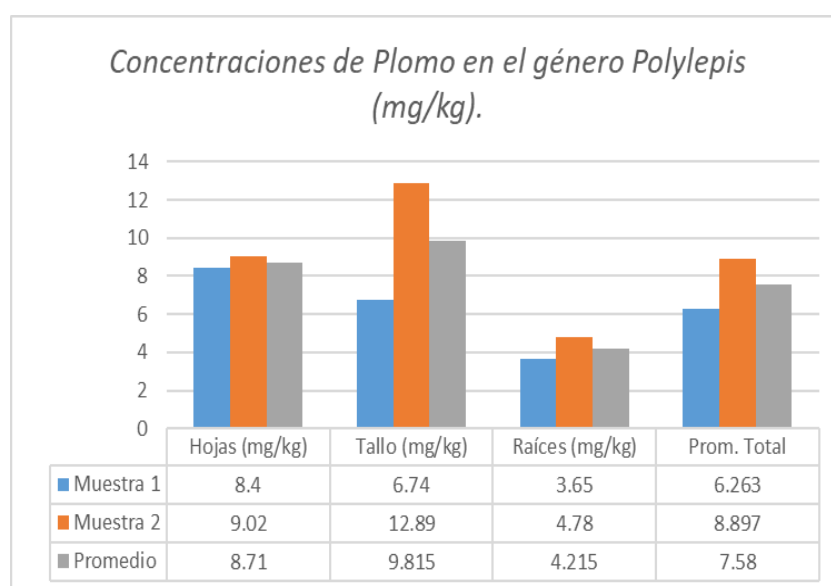
En la tabla N°4 se muestra las concentraciones de plomo en las partes del género *Polylepis* (hojas, raíces y tallo) en dos muestras diferentes, junto con los promedios correspondientes. En la Muestra 1, las concentraciones de plomo fueron de 8.4 ppm en hojas, 6.74 ppm en tallos y 3.65 ppm en raíces, con un promedio total de 6.263 ppm. En la Muestra 2, las concentraciones fueron de 9.02 ppm en hojas, 12.89 ppm en tallos y 4.78 ppm en raíces, con un promedio total de 8.897 ppm. El promedio de ambas muestras revela concentraciones de 8.710 ppm en hojas, 9.815 ppm en tallos y 4.215 ppm en raíces, resultando en un promedio total de 7.580 ppm. Estos datos indican que, en promedio, los tallos del género *Polylepis* acumulan más plomo que las hojas y raíces, sugiriendo una mayor capacidad de bioacumulación en los tallos.

Tabla 4 Concentraciones de Plomo en el género *Polylepis* (mg/kg).

Muestras	Hojas (mg/kg)	Tallo (mg/kg)	Raíces (mg/kg)	Prom. Total
Muestra 1	8.4	6.74	3.65	6.263
Muestra 2	9.02	12.89	4.78	8.897
Promedio	8.710	9.815	4.215	7.580

Fuente: Elaboración propia.

Figura 7. Concentraciones de Plomo en el género *Polylepis* (mg/kg).



Fuente: Elaboración propia.

En la figura se observa las concentraciones de plomo en el género *Polylepis* (mg/kg) de las muestras de las hojas, tallo y raíz.

- Comparar y analizar con otros estudios respecto a los niveles de contenido de plomo en el género *Polylepis*

A comparación con los resultados obtenidos por De la Cruz Mera (2021) al estudiar los niveles de contenido de Plomo y Zinc en órganos no reproductivos del género *Polylepis* en tres localidades: Chaupimarca, Simón Bolívar y Yanacancha, todas en la región de Pasco, Perú, los resultados de las concentraciones de plomo en diversas partes del género *Polylepis* (raíces, tallo y hojas), siendo sus datos analizados mediante la técnicas de absorción atómica en condiciones de laboratorio, se halló una similitud con la localidad de Yanacancha, lo que demuestra que los suelos de este Distrito no son tan heterogéneos, como se menciona en la tabla N°5.

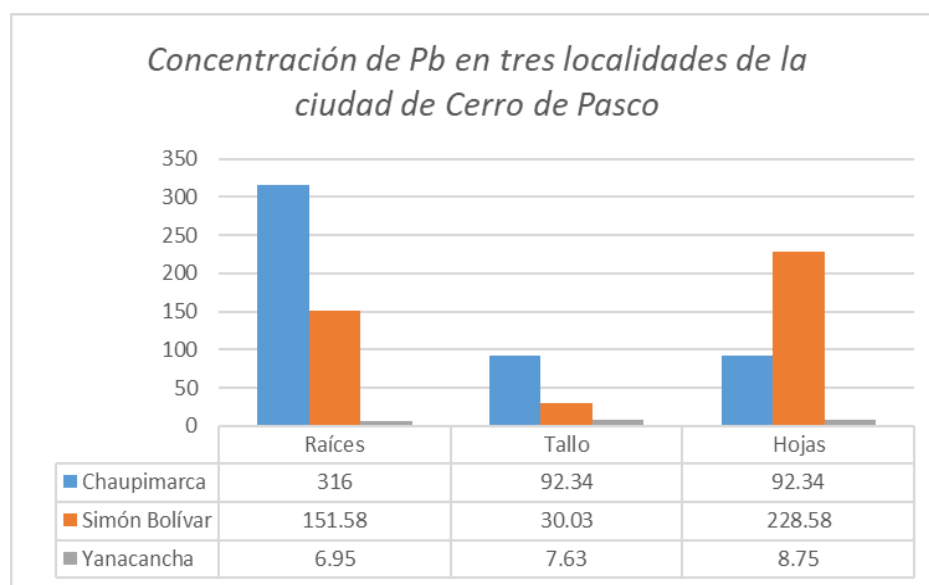
Tabla 5 *Concentración de Pb en tres localidades de la ciudad de Cerro de Pasco.*

Localidad	Raíces	Tallo	Hojas	Promedio
Chaupimarca	316	92.34	92.34	167.56
Simón Bolívar	151.58	30.03	228.58	136.73
Yanacancha	6.95	7.63	8.75	7.78
Promedio Total	158.18	43.33	109.89	103.8

Fuente: (De la Cruz Mera, 2021)

Estos datos muestran una significativa variación en la absorción de plomo dependiendo de la localidad, lo cual puede estar asociado a la proximidad de fuentes de contaminación, como la actividad minera en Pasco.

Figura 8. *Concentración de Pb en tres localidades de la ciudad de C. de P.*



Fuente: Elaboración propia.

En la figura se observa las concentraciones de plomo en el género *Polylepis* (mg/kg) en las tres localidades de la ciudad de Cerro de Pasco.

4.3. Prueba de hipótesis

H_0 ($\mu_1 = \mu_2$): La capacidad promedio de absorción de plomo en el género *Polylepis* presente en las áreas verdes de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión no presenta diferencias significativas con respecto a la capacidad promedio de absorción de plomo de los árboles del mismo género ubicados en el distrito de Yanacancha.

H_1 ($\mu_1 \neq \mu_2$): La capacidad promedio de absorción de plomo en el género *Polylepis* presente en las áreas verdes de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión es significativamente diferente respecto a la capacidad promedio de absorción de plomo de los árboles del mismo género ubicados en el distrito de Yanacancha.

Interpretación:

Se observa que el valor de prueba (7.78 mg/kg obtenido en Yanacancha según De la Cruz Mera, 2021) comparado estadísticamente con los datos de concentración promedio de plomo en áreas verdes de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión revela un valor $t = -0.152$ con un nivel de significancia bilateral (Sig.) de 0.904. Este alto nivel de significancia indica que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos de datos; por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula. Lo que significa que la capacidad de absorción promedio de plomo del género *Polylepis* en las áreas verdes de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión es estadísticamente similar a la capacidad observada en árboles distribuidos en el distrito de Yanacancha. Estos resultados respaldan la utilización del género *Polylepis* en proyectos de fitorremediación para la descontaminación de suelos afectados por plomo,

cumpliendo con las normativas ambientales y proporcionando una solución sostenible al problema de la contaminación por metales pesados.

Tabla 6 Prueba de hipótesis para una muestra

Valor de prueba = 7.78						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Pb (mg kg ⁻¹)	-,152	1	,904	-,20000	-16,9341	16,5341

4.4. Discusión de resultados

La investigación sobre la estructura forestal de tres especies endémicas del género *Polylepis* en la Región Central del Perú ha revelado información crucial sobre la variabilidad en la estructura dasométrica y los patrones de distribución espacial de estas especies. Estos hallazgos proporcionan un contexto importante para discutir los niveles de concentración de plomo en estas especies, particularmente en comparación con los datos específicos de muestras de hojas, tallos y raíces del género *Polylepis* (De la Cruz Mera, 2021).

En primer lugar, los niveles de concentración de plomo encontrados en las hojas, tallos y raíces de las muestras en el género *Polylepis* son indicativos de la capacidad de estas plantas para acumular metales pesados del suelo. Los datos de las muestras muestran concentraciones de plomo de 8.4 ppm en hojas, 6.74 ppm en tallos y 3.65 ppm en raíces para la muestra 1, y 9.02 ppm en hojas, 12.89 ppm en tallos y 4.78 ppm en raíces para la muestra 2. El promedio total de estas concentraciones es de 7.580 ppm, con un promedio de 8.710 ppm en hojas, 9.815 ppm en tallos y 4.215 ppm en raíces.

Estos niveles de concentración de plomo reflejan variaciones en la capacidad de las diferentes partes de la planta para absorber y acumular plomo. Es notable que los tallos presentan una mayor concentración de plomo en

comparación con las hojas y las raíces, lo que podría deberse a la translocación del plomo absorbido desde las raíces a través de la xilema hasta las partes aéreas de la planta.

Al comparar estos resultados con la estructura forestal y los patrones de distribución de las especies de *Polylepis*, se puede inferir que las diferencias en la estructura dasométrica y los factores ambientales, como la altitud y la precipitación anual, pueden influir en la absorción de metales pesados. Por ejemplo, las especies de *Polylepis* que se encuentran a mayores altitudes y en condiciones climáticas más extremas podrían desarrollar adaptaciones fisiológicas que afecten la acumulación de plomo.

En particular, las diferencias en el diámetro y la altura de los árboles entre las localidades estudiadas pueden estar relacionadas con la capacidad de las plantas para soportar y gestionar la presencia de contaminantes en su entorno. Las especies con mayores diámetros y alturas, como *Polylepis racemosa*, pueden tener una mayor biomasa total disponible para la acumulación de metales, lo que podría explicar las variaciones en las concentraciones de plomo observadas (Díaz & Guevara, 2021).

CONCLUSIONES

Los datos obtenidos muestran una clara variabilidad de capacidad en la absorción de plomo entre las diferentes partes del género *Polylepis*. Las concentraciones promedio de plomo fueron más altas en los tallos (9.815 ppm) comparadas con las hojas (8.710 ppm) y las raíces (4.215 ppm). Esto sugiere que los tallos tienen una mayor capacidad de acumulación de plomo, lo cual es crucial para entender la distribución del metal dentro de la planta.

En la comparación con los resultados obtenidos por De la Cruz Mera (2021) al estudiar los niveles de contenido de Plomo y Zinc en órganos no reproductivos del género *Polylepis* en tres localidades: Chaupimarca, Simón Bolívar y Yanacancha, todas en la región de Pasco, Perú, los resultados de las concentraciones de plomo en diversas partes del género *Polylepis* (raíces, tallo y hojas), siendo sus datos analizados mediante la técnicas de absorción atómica en condiciones de laboratorio, se halló una similitud con la localidad de Yanacancha, lo que demuestra que los suelos de este Distrito no son tan heterogéneos.

Las diferencias en la estructura dasométrica y las condiciones ambientales de los bosques de *Polylepis* influyen significativamente en la absorción de plomo, en el caso del género *Polylepis* tiene una mayor altura y diámetro de árboles, puede presentar una mayor capacidad de acumulación de plomo debido a su mayor biomasa total.

Los patrones de distribución espacial de *Polylepis*, como el patrón agregado observado en *Polylepis*, afecta la concentración de plomo en las plantas. Un patrón agregado indica áreas de mayor exposición a fuentes de plomo, lo que resulta en una mayor absorción del metal.

RECOMENDACIONES

Establecer programas de monitoreo continuo para evaluar los niveles de plomo en los diferentes órganos de *Polylepis* sp. y en el suelo circundante. Esto permitirá identificar tendencias a lo largo del tiempo y evaluar la efectividad de las estrategias de mitigación implementadas.

Diseñar e implementar estrategias de remediación específicas para las áreas más afectadas por la contaminación por plomo. Esto incluye el uso de plantas fitoextractoras adicionales o el mejoramiento de las condiciones del suelo mediante enmiendas orgánicas que reduzcan la disponibilidad de plomo para las plantas.

Promover la conservación y restauración de bosques de *Polylepis*, especialmente en áreas donde estas especies muestran una alta capacidad de acumulación de plomo. La reforestación con *Polylepis* en zonas degradadas puede ayudar a mitigar la contaminación por metales pesados y mejorar la salud del ecosistema.

Ampliar la investigación a otras regiones y especies de *Polylepis* para obtener una visión más completa de la absorción de plomo y su variabilidad entre diferentes condiciones ambientales.

Implementar programas de educación y concienciación para los estudiantes, docentes y administrativos sobre los riesgos de la contaminación por plomo y la importancia de conservar los bosques de *Polylepis*. Involucrar a las comunidades en los esfuerzos de monitoreo y conservación puede aumentar la efectividad de estas iniciativas y garantizar su sostenibilidad a largo plazo.

Implementar estrategias de conservación y manejo adecuado de los bosques de *Polylepis* para mitigar los efectos de la contaminación de los suelos por plomo. La variabilidad en la absorción de plomo entre especies y localidades indica que algunas

áreas se encuentran más afectadas que otras, requiriendo intervenciones específicas para reducir la exposición y acumulación de plomo. Además, la preservación de estos ecosistemas es crucial para mantener los servicios ambientales que proporcionan, incluyendo la regulación de metales pesados en el suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asto, D., & Avila, M. (2023). Fitorremediación de suelo contaminado con plomo utilizando *Urtica urens* L. y estiércol de vacuno en el distrito de El Mantaro. (*tesis de pregrado*). Universidad Continental, Huancayo.
- ATSDR. (2024). Resúmenes de Salud Pública - Plomo (Lead). *Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades*.
- Baruah, N., Gogoi, N., & Farooq, M. (2020). Influencia del biocarbón y de las enmiendas orgánicas del suelo en la biodisponibilidad y la inmovilización del cobre y la aparición de cardo común en suelos franco arenosos ácidos. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5).
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104480>
- Carrasco, J. (2025). Percepción de la contaminación por metales pesados y riesgos en la salud en la población de dos distritos en Cerro de Pasco. (*Tesis de doctorado*). Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima. Obtenido de https://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13084/10252/UNFV_EU_PG_Carrasco_Retamozo_Julia_Doctorado_2025.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- De la Cruz Mera, C. A. (2021). *Niveles de contenido de Plomo y Zinc en órganos no reproductivos de Polylepis sp. en tres localidades de Pasco*. Pasco: UNCP.
- Díaz, A., & Guevara, A. (2021). “Revisión sistemática de tecnologías aplicadas para la remediación de suelos contaminados con metales pesados por lixiviados en suelos agrícolas y mineros. (*Tesis de pre grado*). Universidad César Vallejo, Trujillo. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/81552/Diaz_OAS-Guevara_DAC-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

FAO. (2024). Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC). *Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura*.

Felipe, A., & Sánchez, R. (2012). Estudio De La Adsorción De Plomo En Suelos De La Región Minera En El Distrito De Buenos Aires En El Departamento Del Cauca, Colombia. *Revistas de Ciencias*, 16, 145-160. doi:10.25100/rc

García Martos, M. L., & Vásquez León, M. Y. (2020). *Identificación de especies vegetales con potencial para la remediación de suelos provenientes de pasivos ambientales mineros*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.

Gidlow, D. A. (2015). Lead toxicity. *Occupational Medicine*, 348–356.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. d. (2015). *Metodología de la Investigación*. Mexico: McGraw- Hill.

Kabata - Pendias, A. (2000). *Oligoelementos en suelos y plantas* (3ra Edición ed.). Boca Ratón, Florida, EE.UU: CRC Press. doi:<https://doi.org/10.1201/9781420039900>

Lao, R., Zevallos, P., & De La Cruz, H. (1990). Información preliminar de la ecología, dendrología y distribución geográfica de las especies del genero *Polylepis* en el Perú. *Espacio y Desarrollo*(2), 47-62. Obtenido de <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/espacioydesarrollo/article/view/7882>

Liu, X., Zhang, X., Li, R., Wang, G., Jin, Y., Xu, W., . . . Qu, J. (2021). La enmienda orgánica mejora el ambiente de la rizosfera y da forma a la comunidad bacteriana del suelo en suelos negros y rojos bajo estrés por plomo. *Revista de materiales peligrosos*, 416. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125805>

MINAM - Ministerio del Ambiente. (s.f.). Glosario de Términos. Perú. Obtenido de <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2015/02/2016-05-30-Conceptos-propuesta-Glosario.pdf>

Moreno, M. (2018). La contaminación del suelo por plomo y sus consecuencias sobre la salud humana. (*Trabajo Fin de Grado*). Univerisdad Complutense, Madrid. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14352/15357>

OMS. (2024). Intoxicación por plomo. *Organizacion Mundial de la salud*.

Puga, S., Manuel, S., Lebgue, T., & Quintana, C. &. (2006). CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN SUELO PROVOCADA POR LA. *Ecología Aplicada*, 5, 149-155. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v5n1-2/a20v5n1-2.pdf>

Quispe, A. (2020). Fitorremediación con Ricinus Communis para el tratamiento de suelos. (*tesis de pregrado*). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco. Obtenido de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2464>

Ramos Peña, D. V. (2019). Determinación de Pb, Zn, Cu, As, Cd, Cr y Hg en el botadero de Rumiallana como fuente de contaminantes a las poblaciones del Distrito de Simón Bolívar y Yanacancha-Provincia de Pasco-2018. (*tesis de pregrado*). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco. Obtenido de http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1022/1/T026_72696525_T.pdf

Real Academia Española. (s.f). *Plomo*. En Diccionario de la Lengua Española. Recuperado el 05 de agosto de 2024, de <https://dle.rae.es/plomo?m=form>

Rivera, A., & Alarcon, D. (2024). Bioacumulación de Metales Pesados en las Especies: *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezna), *Bacharis tricuneata* (Taya) y *Epilobium*

tetragonum (Adefillas) adaptados en la Desmontera Rumiallana - Yanacancha - Pasco. (*tesis de pregrado*). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco.

Rocabado, P. A., Sparacino, J., Torres, R. C., Díaz, R. E., & Renison, D. (2023). Restauración del bosque montano en suelos degradados: La fertilización temprana quintuplica el crecimiento postplantación de *Polylepis australis*. *Ecología Austral*, 609–620.

Sarmiento, G., & Febres, S. (2021). Recuperación de plomo en suelo agrícola contaminado artificialmente como estrategia de remediación mediante girasol y vermicompost. *Chapingo Ser.Hortic*, 27(3), 199-212.
doi:<https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2021.04.007>

Simpson, B. B. (1979). *A Revision of the Genus Polylepis (Rosaceae: Sanguisorbeae)*. Smithsonian Libraries and Archives.
doi:<https://doi.org/10.5479/si.0081024X.43.1>

Sun, Y., & Zhou, Q. &. (2008). Efectos del cadmio y el arsénico sobre el crecimiento y la acumulación de metales del hiperacumulador de Cd *Solanum nigrum* L. *Tecnología Bioambiental*, 99(5), 1103-1110.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.02.035>

Ttito, D. (2021). Efecto de la modificación química de la cáscara de papa (*Solanum tuberosum*) en la bioadsorción de Pb (II) en solución acuosa, Cusco 2021. (*tesis de pre grado*). Universidad Continental, Cusco. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11854>

Valle Rafael, F. T. (2021). *Potencial biomimético del género Polylepis en la región central del Perú 2021*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.

Vilca Yarma, C. d. (2023). *Utensilios de cerámica como fuente de exposición crónica a plomo residual*. Ica: Universidad Nacional San Luis Gonzaga.

Wu, B., Peng, H., Sheng, M., Luo, H., Wang, X., Zhang, R., & Xu, F. &. (2021). Evaluación del potencial de fitorremediación de plantas nativas dominantes y distribución espacial de metales pesados en una zona minera abandonada en el suroeste de China,. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 220, 1 -10. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112368>

ANEXOS

Anexo 1: Recolección de Datos

Figura 9

Identificación de ejemplares 1



Fuente: Elaboración propia

Figura 10

Identificación de ejemplares 2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 11

Identificación de ejemplares 3.



Fuente: Elaboración propia

Figura 12

Identificación de ejemplares 4.



Fuente: Elaboración propia

Figura 13

Identificación de ejemplares 5.



Fuente: Elaboración propia

Figura 14

Identificación de ejemplares 6.



Fuente: Elaboración propia

Figura 15

Identificación de ejemplares 7.



Fuente: Elaboración propia

Figura 16

Identificación de ejemplares 8.



Fuente: Elaboración propia

Figura 17

Identificación de ejemplares 9.



Fuente: Elaboración propia

Figura 18

Identificación de ejemplares 10.



Fuente: Elaboración propia

Figura 19

Identificación de ejemplares 11.



Fuente: Elaboración propia

Figura 20

Identificación de ejemplares 12.



Fuente: Elaboración propia

Figura 21

Identificación de ejemplares 13.



Fuente: Elaboración propia

Figura 22

Identificación de ejemplares 14.



Fuente: Elaboración propia

Figura 23

Identificación de ejemplares 15.



Fuente: Elaboración propia

Figura 24

Identificación de ejemplares 16.



Fuente: Elaboración propia

Figura 25

Identificación de ejemplares 17.



Fuente: Elaboración propia

Figura 26

Identificación de ejemplares 18.



Fuente: Elaboración propia

Figura 27

Identificación de ejemplares 19.



Fuente: Elaboración propia

Figura 28

Identificación de ejemplares 20.



Fuente: Elaboración propia

Anexo 2.Procedimiento de validación y confiabilidad

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

TITULO DE LA INVESTIGACIÓN:

“Análisis de la concentración de la absorción de plomo en el género Polyepis en el área verde de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco - 2023”

INVESTIGADOR: Bach. Steffany Susan SOLIS CANTA

0=Deficiente 1=Regular 2=Buena

ASPECTOS	INDICADORES	PREGUNTAS/ITEMS									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado	2									
2. OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables		2								
3. ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia y la tecnología			1							
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.				2						
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en cantidad y calidad					2					
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias						2				
7. CONSISTENCIA	Basado en aspectos teórico científicos							2			
8. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores y las dimensiones								1		
9. METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito del diagnostico									2	
10. OPORTUNIDAD	El instrumento ha sido aplicado en el momento oportuno o más adecuado										2
TOTALES		2	2	1	2	2	2	2	1	2	2

APELLIDOS Y NOMBRES DEL VALIDADOR: Mg. Julio Antonio ASTO LIÑAN

TITULO PROFESIONAL/ GRADO ACADEMICO Y/O SEGUNDA ESPECIALIZACIÓN: MAESTRO INGENIERIA QUIMICA

CARGO U OCUPACIÓN: DOCENTE AUXILIAR

Pasco, 04 de abril del 2024

Puntaje total = TOTALES/20

FIRMA

DNI N°18203025

LEYENDA:	00	-	05	DEFICIENTE ()
	06	-	10	REGULAR ()
	11	-	15	BUENO ()
	16	-	20	MUY BUENO (x)

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

TITULO DE LA INVESTIGACIÓN:

“Análisis de la concentración de la absorción de plomo en el género Polyepis en el área verde de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco - 2023”

INVESTIGADOR: Bach. Steffany Susan SOLIS CANTA

0=Deficiente 1=Regular 2=Buena

ASPECTOS	INDICADORES	PREGUNTAS/ITEMS									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado	1									
2. OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables		2								
3. ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia y la tecnología			2							
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.				2						
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en cantidad y calidad					2					
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias						2				
7. CONSISTENCIA	Basado en aspectos teórico científicos							1			
8. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores y las dimensiones								2		
9. METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito del diagnostico									2	
10. OPORTUNIDAD	El instrumento ha sido aplicado en el momento oportuno o más adecuado										2
TOTALES		1	2	2	2	2	2	1	2	2	2

APELLIDOS Y NOMBRES DEL VALIDADOR: M Sc. Eleuterio Andrés Zavaleta Sánchez

TITULO PROFESIONAL/ GRADO ACADEMICO Y/O SEGUNDA ESPECIALIZACIÓN: DOCTOR EN CIENCIAS DE LA EDUCACION

CARGO U OCUPACIÓN: DOCENTE PRINCIPAL

Pasco, 10 de abril del 2024



FIRMA

DNI N° 17821184

Puntaje total = TOTALES/20

LEYENDA:	00	-	05	DEFICIENTE ()
	06	-	10	REGULAR ()
	11	-	15	BUENO ()
	16	-	20	MUY BUENO (x)

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

TITULO DE LA INVESTIGACIÓN:

“Análisis de la concentración de la absorción de plomo en el género *Polylepis* en el área verde de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco - 2023”

INVESTIGADOR: Bach. Steffany Susan SOLIS CANTA

0=Deficiente 1=Regular 2=Buena

ASPECTOS	INDICADORES	PREGUNTAS/ITEMS									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado	2									
2. OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables		2								
3. ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia y la tecnología			2							
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.				2						
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos en cantidad y calidad					2					
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias						2				
7. CONSISTENCIA	Basado en aspectos teórico científicos							1			
8. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores y las dimensiones								1		
9. METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito del diagnóstico									2	
10. OPORTUNIDAD	El instrumento ha sido aplicado en el momento oportuno o más adecuado										2
TOTALES		2	2	2	2	2	2	1	1	2	2

APELLIDOS Y NOMBRES DEL VALIDADOR: M Sc. Edgar Walter PEREZ JUZCAMAYTA

TITULO PROFESIONAL/ GRADO ACADEMICO Y/O SEGUNDA ESPECIALIZACIÓN: INGENIERO FORESTAL

CARGO U OCUPACIÓN: DOCENTE AUXILIAR

Pasco, 16 de abril del 2024


FIRMA

DNI N° 19928414

Puntaje total = TOTALES/20

LEYENDA:	00	-	05	DEFICIENTE ()
	06	-	10	REGULAR ()
	11	-	15	BUENO ()
	16	-	20	MUY BUENO (x)

Anexo 3. Matriz de consistencia

Título: Análisis de la concentración de la absorción de plomo en el género *Polylepis* en el área verde de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco – 2023

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	MUESTRA	DISEÑO	ESTADISTICA
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	V.INDEPENDIENTE	Población	Método	
¿Cuál es el análisis de la capacidad de absorción de plomo en el género <i>Polylepis</i> en el área verde de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco - 2023?	Analizar la capacidad de absorción de plomo en el género <i>Polylepis</i> en el área verde de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco – 2023.	H0: La capacidad promedio de absorción de plomo en el género <i>Polylepis</i> presente en las áreas verdes de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión no presenta diferencias significativas con respecto a la capacidad promedio de absorción de plomo de los árboles del mismo género ubicados en el distrito de Yanacancha. H1: La capacidad promedio de absorción de plomo en el género <i>Polylepis</i> presente en las áreas verdes de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión es significativamente diferente respecto a la capacidad promedio de absorción de plomo de los árboles del mismo género ubicados en el distrito de Yanacancha.	Género <i>Polylepis</i>	Especie del género <i>Polylepis</i> del área verde de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión	Hipotético - deductivo	Estadística descriptiva
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	V.DEPENDIENTE	Muestra	Nivel de investigación	Validación de hipótesis
¿Cuál es la concentración de absorción de plomo en el género <i>Polylepis</i> en el área verde de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco - 2023?	Determinar la concentración de absorción de plomo en el género <i>Polylepis</i> en las diferentes partes de la planta en el área verde de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco – 2023.	H0: El género <i>Polylepis</i> tiene concentraciones de absorción de plomo en su raíz, tallo y hojas en el área verde de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión	Concentración de la absorción de plomo	Muestreo intencionado no probabilístico	Descriptivo	Pruebas paramétricas
¿Cuál es el resultado de la comparación y análisis con otros estudios respecto a los niveles de contenido de plomo en el género <i>Polylepis</i> ?	Comparar y analizar con otros estudios respecto a los niveles de contenido de plomo en el género <i>Polylepis</i>	H0: El suelo presenta concentraciones de plomo en el área verde de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.	V. INTERVINIENTE Suelo del área verde de la UNDAC.		Diseño No Experimental	T student

Fuente: Elaboración propia

Anexo 4. Resultados de Análisis de Metales Pesados



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

INFORME DE ENSAYO

Numero de informe: 34
Usuarios: Steffany Susan SOLIS CANTA
Muestra: Planta del género Polyepis
Análisis: Contenido de Plomo
Fecha del análisis: 29 de abril 2024.
Lugar de la muestra: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion

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

Muestras	Hojas (mg/kg)	Tallo (mg/kg)	Raíces (mg/kg)	Prom. Total
Muestra 1	8.4	6.74	3.65	6.263
Muestra 2	9.02	12.89	4.78	8.897
Promedio	8.710	9.815	4.215	7.580

Cerro de Pasco, 02 de mayo 2024