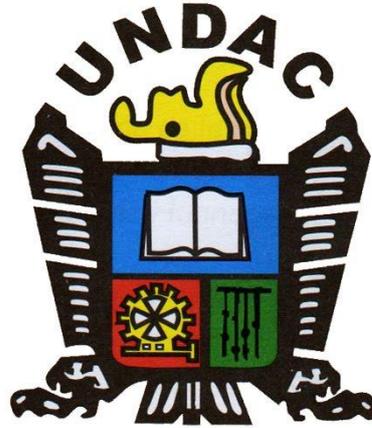


UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



T E S I S

Estudio de la presencia de metales pesados en la planta *Lepidium meyenii* (Maca), en crecimiento en la zona rural del distrito de Ninacaca, situado en la Provincia y Región de Pasco

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor:

Bach. Yasmina Nelida AZAÑA COLLAZO

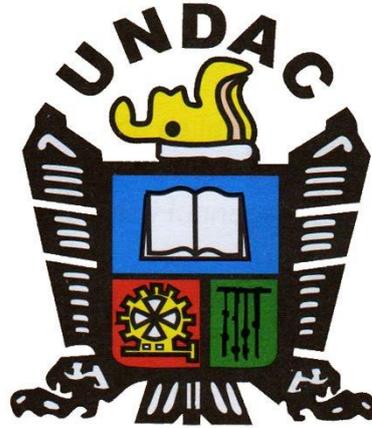
Bach. Milagros Beatriz CALIXTO RAYMUNDO

Asesor:

Mg. Edgar Walter PEREZ JUZCAMAYTA

Cerro de Pasco – Perú – 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTA DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL



T E S I S

Estudio de la presencia de metales pesados en la planta *Lepidium meyenii* (Maca), en crecimiento en la zona rural del distrito de Ninacaca, situado en la Provincia y Región de Pasco

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Luis Alberto PACHECO PEÑA
PRESIDENTE

Mg. Rosario Marcela VÁSQUEZ GARCÍA
MIEMBRO

Mg. Lucio ROJAS VITOR
MIEMBRO



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

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 164-2024-UNDAC/UIFI

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

Tesis:

Estudio de la presencia de metales pesados en la planta
Lepidium meyenii (Maca), en crecimiento en la zona rural del
distrito de Ninacaca, situado en la Provincia y Región de Pasco

Apellidos y nombres de los tesistas:

**Bach. AZAÑA COLLAZO, Yasminda Nelida
Bach. CALIXTO RAYMUNDO, Milagros Beatriz**

Apellidos y nombres del Asesor:

Mg. PEREZ JUZCAMAYTA, Edgar Walter

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Ambiental

Índice de Similitud

12 %

APROBADO

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

Cerro de Pasco, 13 de agosto del 2024



Firmado digitalmente por MEJIA
CACERES Reynaldo FAU
20154805046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 13.08.2024 12:21:35 -05:00

DEDICATORIA

A mis padres, por su amor incondicional, apoyo constante y por creer en mí en cada paso de mi formación académica. Sin su sacrificio y motivación, este logro no habría sido posible.

AGRADECIMIENTO

Deseamos expresar mis más sincero agradecimiento a todas las personas y organizaciones que hicieron posible la realización de esta tesis.

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la fuerza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para culminar este importante proyecto.

A mis profesores y mentores de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, especialmente a los Dr. Héctor Oscanoa Salazar, Dr. David Johnny Cuyubamba Zevallos, Mg. Josué Díaz Lazo, Mg. Julio Asto Liñán, Mg. Rosario Marcela Vásquez García, a mi asesor M Sc. Edgar Walter Pérez Juzcamayta por su invaluable orientación, consejos y paciencia durante todo el proceso de investigación. Su experiencia y conocimientos han sido una fuente de inspiración y aprendizaje continuo.

Finalmente, a todos quienes de alguna manera fueron parte importante para la consolidación de esta tesis, ya sea con sus palabras de aliento, apoyo técnico o logístico, este logro también les pertenece a ustedes.

RESUMEN

La presente investigación aborda la presencia de metales pesados en la planta *Lepidium meyenii* (maca) cultivada en Ninacaca, Pasco, evaluando su impacto en la seguridad alimentaria y la calidad del producto. La problemática radica en la posible acumulación de metales tóxicos como arsénico, cadmio, plomo y mercurio, que pueden afectar la salud pública y la integridad nutricional y medicinal de la maca. El objetivo fue cuantificar estas concentraciones y compararlas con los estándares internacionales para determinar su seguridad. La metodología incluyó la recolección de muestras de suelo y plantas en diferentes etapas de crecimiento, análisis en laboratorio mediante espectrometría de absorción atómica e ICP-MS, y comparación con los umbrales de la OMS. Los resultados mostraron bajas concentraciones de arsénico (0.049 mg/kg), cadmio (0.005 mg/kg), plomo (0.01 mg/kg) y mercurio (0.005 mg/kg), todas por debajo de los límites seguros establecidos. Las conclusiones indican que la maca de Ninacaca no presenta niveles preocupantes de metales pesados, sugiriendo que las prácticas agrícolas actuales son adecuadas para mantener su calidad.

Palabras Claves: Maca, metales pesados, arsénico, cadmio, plomo.

ABSTRACT

This research addresses the presence of heavy metals in the *Lepidium meyenii* (maca) plant grown in Ninacaca, Pasco, evaluating their impact on food safety and product quality. The problem lies in the possible accumulation of toxic metals such as arsenic, cadmium, lead and mercury, which can affect public health and the nutritional and medicinal integrity of maca. The objective is to quantify these concentrations and compare them with international standards to determine their safety. The methodology included the collection of soil and plant samples at different stages of growth, laboratory analysis by atomic absorption spectrometry and ICP-MS, and comparison with WHO thresholds. Results showed low concentrations of arsenic (0.049 mg/kg), cadmium (0.005 mg/kg), lead (0.01 mg/kg) and mercury (0.005 mg/kg), all below established safe limits. The conclusions indicate that Ninacaca maca does not present worrying levels of heavy metals, suggesting that current agricultural practices are adequate to maintain its quality.

Keywords: maca, heavy metals, arsenic, cadmium, lead

INTRODUCCIÓN

La investigación sobre la presencia de metales que generan la toxicidad en el fruto de la planta *Lepidium meyenii* (maca) en la zona rural del distrito de Ninacaca, en la Provincia de Pasco, es de suma importancia debido a las implicancias para la salud pública, la seguridad alimentaria y el valor comercial de la maca. Esta planta, conocida por sus propiedades nutricionales y medicinales, es ampliamente cultivada en esta región, por lo que la evaluación de su calidad en relación a la contaminación por metales es importante y crucial, desde el punto de vista de salud pública.

La presencia de altas concentraciones de cadmio y el plomo, en plantas comestibles es un tema de preocupación mundial, ya que estos elementos pueden acumularse en los tejidos vegetales y, en consecuencia, ingresar a la cadena alimentaria humana, presentando riesgos significativos para la salud. Según Piacente et al. (2002) la maca contiene compuestos bioactivos, como los glucosinolatos, que poseen actividades biológicas significativas. La contaminación por metales pesados podría influir negativamente en la concentración y efectividad de estos metabolitos secundarios.

En la zona rural de Ninacaca, es importante determinar las concentraciones de metales como el Cd y Pb en la maca para asegurar que su aprovechamiento como alimento, no represente un riesgo para la salud. Estudios previos han demostrado que los metales pesados como el plomo y el cadmio pueden alterar la composición química de la maca y, por lo tanto, su eficacia en aplicaciones médicas y nutricionales (Gonzales et al., 2003). Este estudio pretende evaluar las concentraciones de arsénico, cadmio, plomo, mercurio y cromo en la maca cultivada en esta región y compararlas con los estándares internacionales de seguridad alimentaria.

El trabajo de campo implicó la selección de sitios de muestreo representativos, la toma de muestras de suelo y de plantas en diferentes etapas de crecimiento y la recopilación de datos sobre prácticas agrícolas locales y condiciones ambientales. Las

muestras recolectadas son analizadas en el laboratorio de suelos, mediante técnicas avanzadas como la espectrometría de absorción atómica y la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS).

Los resultados revelaron que las concentraciones a metales como Cd y Pb, y otros metales analizados en la maca son bajas. Específicamente, se encontraron las siguientes concentraciones: As (0.049 mg/kg), Cd (0.005 mg/kg), Pb (0.01 mg/kg), Hg (0.005 mg/kg) y Cr (no detectable). Al comparar estos valores con los límites máximos permitidos establecidos por la OMS para productos alimenticios (0.2 mg/kg para Cd y 0.3 mg/kg para Pb), se concluye que las concentraciones observadas están muy por debajo de estos umbrales, esto nos indica que no representa un riesgo significativo para la salud de las personas.

Desde la perspectiva de la ingeniería ambiental, este estudio nos proporciona una valiosa información para el manejo sostenible de los cultivos de maca en Ninacaca. La baja concentración de metales pesados encontrada sugiere que las prácticas agrícolas y las condiciones ambientales actuales son adecuadas para mantener la calidad de la maca, preservando sus propiedades nutricionales y medicinales. Este hallazgo es crucial para diseñar estrategias de manejo de la agricultura, y se pueda minimizar la contaminación por metales tóxicos y asegurar la sostenibilidad del cultivo de maca.

El estudio realizado sobre la presencia de metales pesados en la raíz de la maca cultivada en Ninacaca proporciona una base científica sólida que garantiza la seguridad y calidad de este producto en los mercados nacional e internacional. Esto promueve su uso como un suplemento dietético y medicinal seguro y eficaz.

ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
ÍNDICE	

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema	1
1.2. Delimitación de la investigación	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
1.6. Limitaciones de la investigación.....	8

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio	9
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	9
2.1.2. Antecedentes nacionales	12
2.1.3. A nivel local	15
2.2. Bases teóricas - científicas	16
2.2.1. La Maca	16

2.2.2. Contaminación de Suelos.....	21
2.2.3. Minería a nivel Nacional	29
2.3. Definición de términos básicos	33
2.4. Formulación de hipótesis	37
2.4.1. Hipótesis general.....	37
2.4.2. Hipótesis específicas.....	37
2.5. Identificación de las variables	37
2.5.1. Variable independiente.....	37
2.5.2. Variable dependiente.....	37
2.6. Definición Operacional de variables e indicadores.....	38

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de Investigación	39
3.2. Nivel de Investigación	40
3.3. Métodos de investigación	40
3.4. Diseño de investigación	41
3.5. Población y muestra	42
3.5.1. Muestra	42
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	43
3.6.1. Trabajos de campo.....	43
3.6.2. Trabajos de laboratorio.....	43
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.	43
3.8. Técnicas de procesamientos y análisis de datos	44
3.9. Tratamiento Estadístico	44
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica.....	44

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	46
---	----

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	50
4.3. Prueba de Hipótesis.....	50
4.4. Discusión de resultados.....	52

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Coordenadas Geográficas</i>	4
Tabla 2: Casos sospechosos notificados por exposición a metales	27
Tabla 3: Niveles de concentración distribución de casos	27
Tabla 4 <i>Matriz de Operacionalización de las variables</i>	38
Tabla 5 Resultados de la concentración de metales	50
Tabla 6 Cantidad de plomo en la maca.....	50
Tabla 7 Prueba de hipótesis	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Ubicación del área de estudio</i>	3
Figura 2 Parcela del sembrío de la planta <i>Lepidium meyenii</i> (Maca).....	49
Figura 3 Parcela del cultivo, con la recolección de la muestra de la planta <i>Lepidium meyenii</i> (Maca)	49

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: La Maca (<i>Lepidium meyenii</i> o <i>Lepidium peruvianum</i>)	17
Ilustración 2: Muestra las temperaturas máximas promedio en grados Celsius para cada mes en Ninacaca	19
Ilustración 3: Muestra la temperatura promedio anual en Ninacaca, indicada en grados Celsius.....	19
Ilustración 4: Muestra la nevada promedio en centímetros por mes en Ninacaca.	19
Ilustración 5: muestra el índice UV promedio por mes en Ninacaca.....	20
Ilustración 6: muestra la precipitación promedio anual en milímetros que cae en Ninacaca.....	20
Ilustración 7: Cultivo de la Maca en Ninacaca.....	21
Ilustración 8: Mapa de las cuencas hidrográficas de la región Pasco.....	32
Ilustración 9: Recolección de muestras de maca en Ninacaca.....	47
Ilustración 10: Toma de muestra de la maca en Ninacaca	48

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema

El descubrimiento de metales presentes como contaminantes en la maca, un tubérculo nativo de las regiones andina peruana, ha suscitado preocupación sobre los efectos de la minería y la metalurgia en el departamento de Pasco, principal productor de este cultivo en el centro del país. Un estudio publicado en la revista Toxicology Reports identificó niveles elevados de arsénico (As), cadmio (Cd) y plomo (Pb) en la maca cultivada a altitudes superiores a los 4.000 metros.

Aunque la maca es conocida por sus propiedades beneficiosas, como prevenir la osteoporosis, mejorar la memoria y combatir la disfunción sexual, el estudio encontró concentraciones peligrosas de cadmio y plomo en las áreas afectadas por actividades mineras y metalúrgicas. Los niveles detectados superan significativamente las recomendaciones de la OMS y representan un riesgo cancerígeno por encima de los límites tolerables.

Los metales pesados pueden entrar al cuerpo mediante el agua, la inhalación o el consumo de vegetales contaminados. Sus efectos negativos incluyen enfermedades como cáncer, problemas pulmonares, neurológicos, renales, hepáticos e hipertensión.

Además de los riesgos para la salud, estos hallazgos también tienen implicancias económicas para Perú, el principal exportador mundial de maca. Aunque el 5 por ciento se vende al exterior, la presencia de metales pesados ya afecta la economía de las familias de bajos ingresos. El mercado internacional exige productos de calidad y que cumplan con estándares para la exportación, lo que podría poner en peligro la posición de Perú en este mercado (Orellana Mendoza, 2021).

La autora Edith Orellana Mendoza, investigadora principal del estudio "Metales pesados en suelos y tejidos comestibles de *Lepidium meyenii* (maca) y evaluación del riesgo para la salud en zonas influenciadas por la actividad minera en la región central de Perú", destaca la necesidad de difundir los resultados para que las empresas mineras tomen medidas de implementar los estudios de impacto ambiental con la finalidad que eduzcan su impacto adverso en este producto fundamental para la dieta y el comercio andinos. Abordar esta cuestión es vital para asegurar la seguridad alimentaria y la sostenibilidad económica en la región.

El gobierno peruano ha documentado 4,867 casos de personas expuestas a metales pesados en todo el país, según recordó Amnistía Internacional el año pasado. En este contexto, es crucial abordar la situación de los 7,956 pasivos ambientales mineros (PAM) - instalaciones, efluentes, emisiones o residuos de operaciones inactivas que representan un riesgo para la salud o el ambiente - en todo el territorio.

La Contraloría General de la República advirtió recientemente que el 42 por ciento de los 921 PAM clasificados como de alto o muy alto riesgo siguen "sin gestionar". Orellana destaca que el problema más crítico radica en los PAM abandonados por la minería informal, donde la remediación de las áreas afectadas es mínima.

Entre 2004 y 2019, el Estado destinó alrededor de US\$ 84 millones para la remediación de 936 PAM en 23 antiguas unidades mineras, pero sólo se lograron sanear siete de ellas.

El estudio de Toxicology Reports subraya que en los países en desarrollo, es crucial priorizar la evaluación de los riesgos para la salud en áreas donde la minería y la metalurgia son principales responsables de la contaminación del suelo, agua, aire y alimentos.

1.2. Delimitación de la investigación

La presente investigación se delimita según:

El proyecto de investigación se realizará:

Región: Pasco
Provincia: Pasco
Distrito: Ninacaca
Lugar: Ninacaca
Altitud: 4 105 m s. n. m.

Figura 1

Ubicación del área de estudio



Tabla 1

Coordenadas Geográficas

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

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es la concentración de la presencia de metales pesados en la planta *Lepidium meyenii* (Maca), en crecimiento en la zona rural del distrito de Ninacaca, situado en la Provincia y Región de Pasco?

1.3.2. Problemas específicos

- a) ¿Cuál es la concentración de la presencia de plomo en la planta *Lepidium meyenii* (Maca), en crecimiento en la zona rural del distrito de Ninacaca, situado en la Provincia y Región de Pasco?
- b) ¿Cuál es la concentración de la presencia de cadmio en la planta *Lepidium meyenii* (Maca), en crecimiento en la zona rural del distrito de Ninacaca, situado en la Provincia y Región de Pasco?

1.4. Formulación de Objetivos.

1.4.1. Objetivo general

Determinar la concentración de la presencia de metales pesados en la planta *Lepidium meyenii* (Maca), en crecimiento en la zona rural del distrito de Ninacaca, situado en la Provincia y Región de Pasco.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Determinar la concentración de la presencia de plomo en la planta *Lepidium meyenii* (Maca), en crecimiento en la zona rural del distrito de Ninacaca, situado en la Provincia y Región de Pasco.

- b. Determinar concentración de la presencia de cadmio en la planta *Lepidium meyenii* (Maca), en crecimiento en la zona rural del distrito de Ninacaca, situado en la Provincia y Región de Pasco.

1.5. Justificación de la investigación

Los metales pesados, como el plomo (Pb), cromo (Cr), cadmio (Cd), cobalto (Co), níquel (Ni), y otros, son metales pesados son contaminantes conocidos por sus efectos nocivos en la salud y el medio ambiente debido a su alto peso molecular. Estos elementos son particularmente preocupantes en ecosistemas afectados por la actividad minera, ya que pueden causar daños significativos.

En un informe reciente, el médico Fernando Osores señala que no fue sorprendente encontrar niveles elevados de metales pesados en las mediciones, especialmente en áreas afectadas por la actividad minera. Osores, autor del informe sobre seguimiento de niños expuestos a estos contaminantes, destaca que muchos de ellos desarrollaron patologías graves, como aplasia medular, leucemias, trastornos del comportamiento y anemias con sangrados.

Aunque la investigación no fue realizada por Osores, él comparte su preocupación sobre la falta de medidas gubernamentales efectivas, como declaratorias de emergencia y mesas de diálogo, así como la ausencia de planes de contingencia para situaciones de riesgo. Además, critica la insuficiencia de los estándares actuales y sugiere que se debería establecer un mejor estándar de control para medir la ingesta de metales pesados, como es el caso de la maca, un alimento endémico en las regiones altoandinas.

Este hallazgo de plomo y cadmio en una planta como la maca, que se promociona como medicinal, es considerado novedoso por el médico, resaltando la importancia de revisar y mejorar los estándares de seguridad alimentaria y ambiental en áreas afectadas por la actividad minera.

Importancia y alcances de la investigación

A. Importancia

a. Importancia Cultural y Económica

La maca es un cultivo tradicional y culturalmente significativo en la región andina peruana, y su economía depende en gran medida de la producción y exportación de este tubérculo.

La exportación de maca es una fuente importante de ingresos para Perú, siendo el principal exportador mundial. La calidad del producto es vital para mantener y mejorar la posición en el mercado internacional.

b. Impacto en la Salud Humana

La maca ha sido promocionada por sus beneficios para la salud, y es consumida tanto a nivel local como internacional. La presencia de elementos metálicos pesados, como As, Cd y Pb, plantea riesgos para la salud humana, especialmente a largo plazo.

La detección de niveles peligrosos de metales pesados en la maca sugiere la necesidad de evaluar y abordar los posibles impactos en la salud de quienes consumen este tubérculo, especialmente en comunidades cercanas a actividades mineras.

c. Sostenibilidad Ambiental

La contaminación por metales pesados en la maca destaca la necesidad de abordar las prácticas ambientales asociadas a la actividad minera y metalúrgica en la región. Estos contaminantes pueden tener consecuencias a largo plazo en los ecosistemas locales, afectando la biodiversidad y la calidad del suelo.

d. Normativas y Estándares Internacionales

La detección de niveles que superan las recomendaciones de la OMS resalta la importancia de cumplir con normativas internacionales en la producción de alimentos. El incumplimiento de estos estándares

podría tener repercusiones negativas en las exportaciones y la reputación de los productos peruanos en el mercado mundial.

e. Protección de la Salud Infantil

El seguimiento de niños expuestos a metales pesados revela patologías graves. Este aspecto subraya la importancia de proteger a la población más vulnerable, en particular a los niños, y destaca la urgencia de tomar medidas preventivas para garantizar su salud a largo plazo.

f. Conciencia Pública y Acción Gubernamental

La difusión de estos hallazgos es esencial para aumentar la conciencia pública sobre los posibles riesgos asociados con la maca contaminada. Además, presiona a las autoridades gubernamentales y a las empresas mineras para que tomen medidas correctivas y preventivas.

El estudio de la maca y la presencia de metales pesados no solo aborda aspectos de salud y seguridad alimentaria, sino que también tiene implicaciones importantes para la economía, el medio ambiente y el bienestar de las comunidades locales en Perú.

B. Alcances de la Investigación

La investigación sobre la presencia de metales pesados en la planta *Lepidium meyenii* (maca) cultivada en Ninacaca, Pasco, tiene un alcance multifacético que abarca aspectos como: científicos, agrícolas, de salud pública y comerciales, proporcionando una evaluación de los niveles de metales pesados en la maca. Mediante técnicas avanzadas de análisis como la espectrometría de absorción atómica y la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), se lograron cuantificar las concentraciones de arsénico, cadmio, plomo, mercurio y cromo en las muestras de maca.

El estudio también tiene un alcance significativo en el ámbito de la salud pública. Al demostrar que las concentraciones de metales pesados en la maca son considerablemente bajas y están por debajo de los límites seguros establecidos por la OMS, la investigación asegura que el consumo de maca cultivada en Ninacaca no representa un riesgo significativo para la salud humana. Este hallazgo es vital para los consumidores y las autoridades sanitarias, ya que proporciona la tranquilidad de que este producto es seguro para su consumo.

Además, los resultados de esta investigación pueden guiar la implementación de mejores prácticas agrícolas. Al identificar que las prácticas actuales en la zona rural del distrito de Ninacaca resultan en niveles bajos de contaminación por metales pesados, se pueden reforzar y promover estas prácticas como un modelo para otras regiones. Esto no solo mejora la calidad del producto, sino que también ayuda a proteger el medio ambiente y la salud de los agricultores locales.

Desde una perspectiva comercial, la investigación respalda la reputación de la maca de Ninacaca como un producto de alta calidad y seguro. Esto es crucial para mantener y expandir la presencia en el mercado nacional e internacional. La evidencia científica de la baja contaminación por metales pesados fortalece la posición de la maca como un suplemento dietético y medicinal confiable, lo que puede impulsar su demanda y valor comercial.

1.6. Limitaciones de la investigación

La presente investigación presenta algunas limitaciones como:

Poca información con respecto a la especie a investigar

Costo de instalación y ejecución del proyecto en condición de estudiante.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales

(Xin, y otros, 2018) Objetivo: La maca es un nuevo recurso alimentario. En este estudio, se revelaron las sustancias nutritivas (aminoácidos y elementos minerales) constituyentes de la Maca, y se llevaron a cabo las evaluaciones de seguridad de residuos de pesticidas y contaminación por metales pesados en la Maca. Los resultados proporcionarían una base teórica para la explotación y utilización de la Maca de Yunnan. Métodos: Se analizaron los componentes y el contenido de proteínas, aminoácidos, grasas totales, azúcares totales, elementos minerales, pesticidas y metales pesados de la maca de Yunnan, recolectada en distintas regiones y de diferente color, utilizando los métodos estándar nacionales de China. Resultados: Hubo una distinción en la calidad nutricional de la Maca de Yunnan de diferentes regiones. El contenido de arginina y prolina era mayor en la Maca amarilla de Yunnan producida en Taian Town, condado de Yulong, ciudad de Lijian. El análisis demostró que la Maca de Yunnan era rica en 10 tipos de elementos minerales, como el kalio, el magnesio, el manganeso, etc., especialmente la Maca negra producida en Longshan Town, en el condado de Longling. Además, los niveles de contenido

de pesticidas y metales pesados en la Maca de Yunnan de diferentes regiones estaban muy por debajo de la norma de control de seguridad de la regulación nacional, y esa Maca era segura para el consumo. Conclusiones: La Maca de Yunnan de diferentes regiones tiene un alto valor nutritivo y una gran función para la salud. Por lo tanto, la Maca de Yunnan podría desarrollarse y utilizarse como un nuevo tipo de alimento beneficioso para la salud.

(Ju, Yu, Yang, & Lui, 2015) Se modificaron nanotubos de carbono multipared con nanopartículas de Fe_3O_4 para su aplicación en la preconcentración de metales. Los materiales modificados se caracterizaron mediante espectroscopia infrarroja, microscopía electrónica de transmisión y difracción de rayos X. Los nanotubos de carbono multipared modificados con nanopartículas de Fe_3O_4 se utilizaron como sorbentes para la extracción de cadmio y plomo de la maca antes de su análisis por espectrometría de absorción atómica de llama. Se caracterizaron la cantidad de nanopartículas, el pH, el tiempo de adsorción, los iones coexistentes, la solución eluyente y la reutilización del material para optimizar las recuperaciones de los analitos. En las condiciones óptimas, las curvas de calibración fueron lineales de 0,05 a 20 miligramos por litro para el cadmio y de 0,05 a 25 miligramos por litro para el plomo. Los límites de detección fueron de 0,32 y 0,57 microgramos por litro, mientras que las desviaciones típicas relativas fueron de 2,1 y 1,9%, respectivamente. El método se empleó para la determinación de cadmio y plomo en maca y se obtuvieron recuperaciones entre el 94,8 y el 105,6 por ciento.

(Rubio, y otros, 2006) Las ratas fueron tratadas con 0, 8, 16 y 24 mg/kg de acetato de plomo (LA) (i.p.) durante 35 días con o sin Maca. Se coadministró Maca por vía oral desde el día 18 hasta el día 35. Las longitudes de los estadios del epitelio seminífero se evaluaron mediante transiluminación. También se midieron el peso de los órganos sexuales, el recuento de espermatozoides testiculares y epididimarios, la motilidad espermática, la producción diaria de

espermatozoides, la tasa de tránsito espermático y los niveles séricos de testosterona. El tratamiento con acetato de plomo produjo una reducción dosis-respuesta de las longitudes de los estadios VIII y IX-XI, y de los niveles séricos de testosterona. Sin embargo, las ratas tratadas con 8 y 16 mg/kg, pero no con 24 mg/kg de acetato de plomo, mostraron un bajo número de espermátidas testiculares, una baja producción diaria de espermatozoides (PDE) y un bajo recuento de espermatozoides epididimarios. La administración de Maca a ratas tratadas con acetato de plomo resultó en una mayor duración de los estadios VIII y IX-XI con respecto a las ratas tratadas con acetato de plomo. Además, el tratamiento con Maca a ratas tratadas con acetato de plomo dio lugar a longitudes de los estadios VIII y IX-XI similares a las del grupo de control. La administración de Maca también redujo el efecto deletéreo sobre el DSP causado por el tratamiento con acetato de plomo. La Maca previno la alteración espermátogénica inducida por el LA en ratas y puede convertirse en un tratamiento potencial de la infertilidad masculina asociada a la exposición al plomo.

(Jin, y otros, 2018) *Lepidium meyenii* Walp. (maca) ha sido utilizada en la región andina por su valor comestible y medicinal. Se analizaron las partes aéreas de la maca (APM) para determinar su contenido en proteínas, azúcares totales, vitaminas, aminoácidos y minerales, así como sus principios activos característicos en cinco fases de crecimiento diferentes. Los resultados mostraron el alto contenido de proteínas, azúcar total, vitamina C, niacina, potasio y calcio de la APM. Se detectaron los 17 aminoácidos y los ingredientes activos característicos, a saber, macamida, glucosinolatos, adenosina y saponinas totales. Se examinaron los efectos de los polvos de la planta de maca sobre el vaciado gástrico y la propulsión intestinal y los niveles de motilina y gastrina séricas en ratones tratados con atropina. Se investigó el isotiocianato de bencilo (BITC) para identificar el material activo potencial en APM. Los

resultados revelaron que tanto los polvos de la planta de maca como el BITC pueden promover la eficacia procinética gastrointestinal. Así pues, las APM presentan potencial como nuevas fuentes vegetales funcionales.

2.1.2. Antecedentes nacionales

(Ortiz Ojeda, Ogata Gutiérrez, & Zúñiga Dávila, 2017) El altiplano andino de Perú es conocido por sus duras condiciones medioambientales. Los suelos ácidos que contienen una gran cantidad de metales pesados debido a las actividades mineras y que soportan temperaturas muy bajas afectan a las actividades agrícolas al disminuir la calidad y el rendimiento de los cultivos. En este contexto, las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) adaptadas a bajas temperaturas y tolerantes a metales pesados pueden ser consideradas como una alternativa biológica amigable con el medio ambiente para el manejo de cultivos andinos. El objetivo de este trabajo fue seleccionar y caracterizar PGPR psicrótrofas aisladas de la rizosfera de la maca (*Lepidium meyenii* Walp.) un cultivo alimenticio tradicional andino. Un total de 44 cepas psicrótrofas aisladas de 3 áreas ubicadas en la meseta de Bombón de Junín-Perú fueron probadas por sus características PGPR como la producción de ácido indol acético (IAA), solubilización de fosfato y por su capacidad para mejorar la germinación de semillas. Además, se probó su capacidad para crecer en presencia de elementos metálicos como: cadmio, plomo, cobalto y mercurio. Del total de cepas ensayadas, 12 dieron positivo en la producción de IAA a 22 °C, 8 a 12 °C y 16 a 6 °C. Las actividades de solubilización de fosfatos fueron mayores a 12 °C y 6 °C que a 22 °C. Los ensayos en plantas de trébol rojo mostraron que 16 cepas eran capaces de mejorar la germinación de las semillas a 22 °C y 4 a 12 °C. Además, 11 cepas mostraron tolerancia al Cd y al Pb a distintas concentraciones. Este estudio resalta la importancia de obtener PGPRs para ser utilizadas en cultivos de plateau alto andino que están expuestos a bajas temperaturas y presencia de elementos solubles metálicos en el suelo.

(Orellana Mendoza, y otros, 2021) La contaminación por metales tóxicos en el suelo y los productos agrícolas representa un problema ambiental significativo, con efectos perjudiciales sobre la calidad de los cultivos y un riesgo para la seguridad alimentaria y la salud pública. Se analizaron las concentraciones de As, Cd, Pb, Fe y Zn en suelos superficiales y en los hipocotilos comestibles de dos ecotipos de *Lepidium meyenii* Walpers (maca) en tres distritos de Junín, Perú, y se evaluó el riesgo para la salud humana por el consumo de maca contaminada. Las muestras recogidas en áreas afectadas por minería y metalurgia mostraron que las concentraciones medias de Cd y Pb en la maca excedían los límites de la FAO y la OMS. Aunque el factor de bioconcentración fue menor a 1 y la ingesta diaria estimada no superó la dosis oral de referencia, el riesgo de cáncer por As y Cd superó el límite tolerable tanto en niños como en adultos. Los habitantes del distrito de Ondores están más expuestos a As y Cd debido al consumo de maca. Es esencial realizar un monitoreo continuo de otros metales tóxicos en diferentes ecotipos de maca para evaluar la variación en la acumulación de metales pesados y la toxicidad.

(Solano Medina, Castro, Inostroza, Ramos, & Alcarraz, 2021) La maca (*Lepidium meyenii* Walp) es un producto peruano conocido por sus beneficios para la salud, aunque puede contener sustancias contaminantes según su procesamiento o estado natural. Este estudio analizó la presencia de mohos micotoxigénicos y metales tóxicos, como plomo y mercurio, en harina de maca del mercado agrícola de Buenos Aires, en Carhuamayo, Huancayo, Junín. Mediante métodos directos e indirectos, se identificaron especies de *Cephalosporium* sp. (HMD1) y *Penicillium* sp. (HMD2), además de una dilución de levaduras (5×10^8 ufc/mL). La espectrofotometría de absorción atómica reveló plomo en una cantidad media de 0,17 mg/kg, por debajo del límite tóxico permisible, y mercurio en concentraciones menores al límite de detección del equipo, con un valor de 1 ppm.

Este análisis proporciona información valiosa sobre la calidad y seguridad de la harina de maca en este mercado específico, permitiendo tomar medidas preventivas en caso de detectarse niveles preocupantes de contaminantes.

Pérez (2015). En la tesis de maestría titulada "Acumulación de metales pesados en plantas nativas en los relaves de los pasivos ambientales de la mina Cercapuquio," se examinó la presencia de metales pesados en especies nativas que crecen cerca de la mina Cercapuquio. Se seleccionaron dos especies para el estudio: *Astragalus cece* Cav. y *Hypochoeris meyeniana* (Walp.) Griseb, y se analizaron los niveles de distintos metales pesados en ellas. Para *Astragalus cece* Cav., se encontraron concentraciones de estos metales:

- Hierro: 60,63 ppm
- Manganeso: 90,5 ppm
- Zinc: 121,09 ppm
- Cobre: 0,32 ppm
- Plomo: 0,05 ppm
- Cadmio: 0,020 ppm

En el caso de *Hypochoeris meyeniana* (Walp.) Griseb, se observaron niveles acumulados más elevados de los metales mencionados:

- Hierro: 177,33 ppm
- Manganeso: 900,89 ppm
- Zinc: 197,76 ppm
- Cobre: 6,11 ppm
- Plomo: 1,11 ppm
- Cadmio: 0,1 ppm

Estos resultados proporcionan información valiosa sobre la capacidad de estas plantas nativas para acumular metales pesados en las áreas cercanas a

los pasivos ambientales de la mina, lo que puede tener implicaciones significativas para la salud ambiental y humana en esa región específica.

(Sifuentes Penagos & Paucar Menacho, 2015) La maca es un producto originario de los Andes Centrales del Perú, conocido por su capacidad para resistir condiciones climáticas adversas como granizadas, heladas y sequías prolongadas. Desde la época incaica, se ha cultivado a altitudes que van desde los 3800 hasta los 4500 metros sobre el nivel del mar. Esta planta herbácea no solo proporciona un alto valor nutricional, sino que también es valorada por sus propiedades medicinales.

Entre los componentes químicos del cultivo andino que se han relacionado con sus efectos terapéuticos se encuentran los glucosinolatos, esteroides, ácidos grasos como el macaeno y sus amidas asociadas (macamidas), así como alcaloides como lepidilinas A y B, macaridina, y polifenoles. Estos compuestos se han vinculado con diversos beneficios, incluyendo el incremento de la fertilidad, aumento de niveles de energía, propiedades antioxidantes, mejora del deseo sexual y la tasa de crecimiento. El objetivo de este estudio fue recopilar y revisar las diversas investigaciones sobre las propiedades terapéuticas de la maca e identificar los compuestos responsables de estos efectos. El análisis busca profundizar en la comprensión de los beneficios para la salud derivados del consumo de maca y contribuir al conocimiento científico sobre esta planta andina.

2.1.3. A nivel local

(Ramos Prado, 2020) Productores agropecuarios del Centro Poblado de Tambopampa, de Yanahuanca, provincia de Daniel Alcides Carrión, cosechan 40 toneladas de maca en ocho hectáreas sembradas.

Estos resultados son el fruto del esfuerzo de 15 socios y la asesoría de profesionales de la Agencia Agraria de la provincia. La producción está

destinada a abastecer mercados a nivel nacional, garantizando condiciones óptimas para su consumo.

La Agencia Agraria carrionina, liderada por el Ing. Sandro Ramos Prado y su equipo técnico, lleva a cabo diversas actividades en beneficio de los agroganaderos. Próximamente, se lanzarán 25 proyectos agropecuarios en las comunidades beneficiarias, abarcando cadenas productivas de papa, maíz, paltos, reforestación, así como vacunos, cuyes, gallinas, alpacas, porcinos, entre otros, con una inversión aproximada de más de 587 mil nuevos soles.

2.2. Bases teóricas - científicas

2.2.1. La Maca

La maca, también llamada Ginseng Andino, Ginseng Peruano, *Lepidium meyenii* o *Lepidium peruvianum*, es una planta relacionada con el rábano que tiene un aroma parecido al caramelo.

Esta planta prospera en las altiplanicies de la Cordillera de los Andes y ha sido cultivada como tubérculo durante al menos 3000 años. Aunque la raíz de la maca se utiliza en la fabricación de medicamentos, todavía no hay suficiente información confiable para comprender completamente su funcionamiento.

Ilustración 1: La Maca (*Lepidium meyenii* o *Lepidium peruvianum*)



La maca se ingiere oralmente para abordar el tratamiento de la infertilidad en hombres abordar problemas de salud posteriores a la menopausia, aumentar el deseo sexual en personas sanas, entre otros propósitos. Sin embargo, es importante destacar que hasta el momento no existe una base sólida de evidencia científica que respalde de manera concluyente ninguno de estos usos.

La maca es una planta poco común que crece en áreas de gran altitud, específicamente por encima de los 4000 m.s.n.m, en la sierra central del Perú, en la zona agroecológica Puna de los departamentos de Junín y Pasco. Pertenece a la familia de las Crucíferas, similar al rabanito, y tiene una forma de crecimiento semipostrada con varios años de producción.

A. Descripción botánica

La maca ha sido estudiada por investigadores extranjeros, como el Dr. Walpers en 1843, y posteriormente por Weddell en 1864, quienes describieron especies similares. Sin embargo, fue en 1989 cuando Gloria

revisó la descripción taxonómica de la maca basándose en ejemplares colectados en Huarancaca, Cerro de Pasco, a 4300 msnm, y concluyó que era una especie diferente a la descrita anteriormente. Ambas especies son anuales y presentan hojas caulinares. Sus flores tienen sépalos perennes que miden entre 1,2 y 1,4 mm, son de color verde claro con bordes blanquecinos, pétalos blancos de 1,4 a 1,6 mm de largo, y producen frutos en forma de silicua.

B. Requerimientos climáticos

La maca ha sido seleccionada y adaptada para crecer en condiciones extremas como bajas temperaturas, heladas y ambientes relativamente secos. Su cultivo se limita a las altas pampas frías de la región central del Perú, donde se encuentra en estado de semidomesticación. Su área de cultivo está restringida a las zonas altas (altiplanos) debido a su notable tolerancia a estas condiciones.

El clima de Ninacaca, donde se ha logrado adaptar su crecimiento de la maca, tiene una temperatura media anual de 26°C. A lo largo del año, la temperatura mensual promedio puede bajar a 21°C y subir a 27°C.

Anualmente caen aproximadamente 1597 mm de lluvia. Esto ofrece una buena visión de la cantidad de lluvia que se puede esperar en Ninacaca. Además, cae aproximadamente 3,5 cm de nieve cada año (Cuandovisitar.pe, s.f.).

Ilustración 2: Muestra las temperaturas máximas promedio en grados Celsius para cada mes en Ninacaca



Ilustración 3: Muestra la temperatura promedio anual en Ninacaca, indicada en grados Celsius.

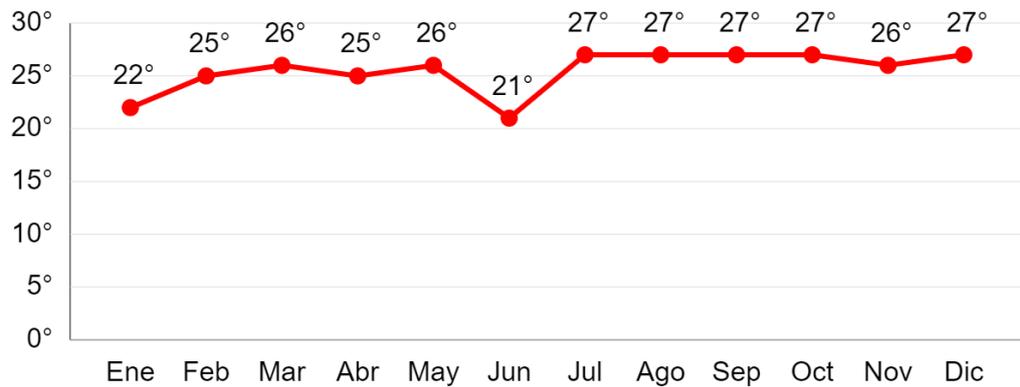


Ilustración 4: Muestra la nevada promedio en centímetros por mes en Ninacaca.

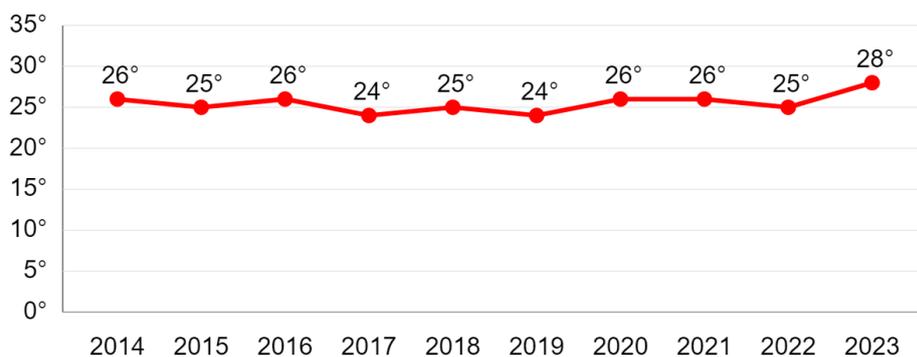


Ilustración 5: muestra el índice UV promedio por mes en Ninacaca.

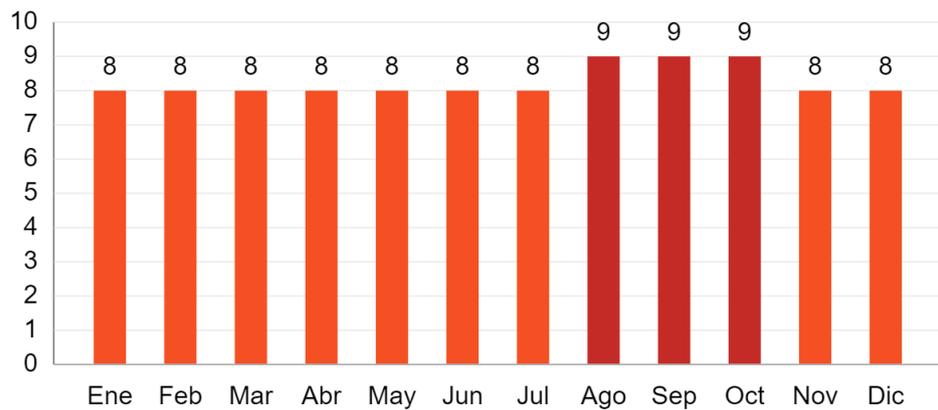
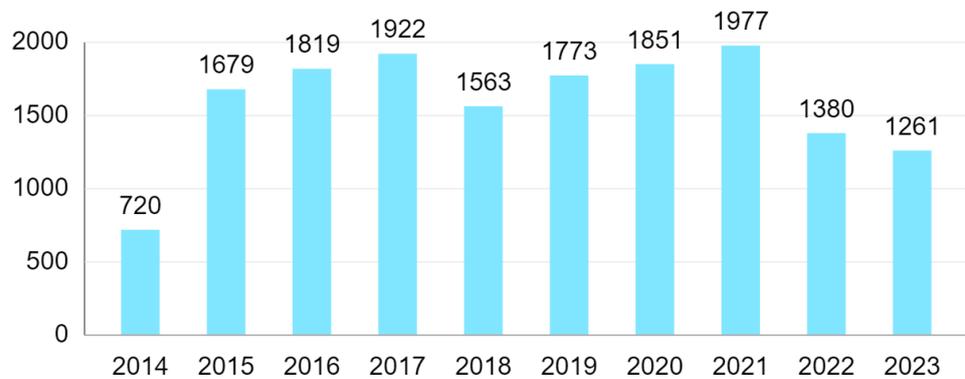


Ilustración 6: muestra la precipitación promedio anual en milímetros que cae en Ninacaca.



C. Requerimientos de suelo

La maca prospera mejor en suelos ricos en materia orgánica, pesados y ligeramente ácidos, que son características comunes de los suelos de la puna.

D. Fitomejoramiento

Durante los últimos 10 años, se han realizado actividades para seleccionar ecotipos más productivos y con mayor valor nutritivo. En Junín, se han identificado cuatro tipos de maca basados en el color de la planta, que se debe a los pigmentos de antocianinas en el eje: crema, semipúrpura, púrpura y negro.

E. Cultivo

Con un sistema de producción tecnificado, se pueden obtener hasta 15 toneladas por hectárea de raíces de maca. Uno de los desafíos principales es el largo tiempo (dos años) que la planta tarda en producir frutos, aunque se reconoce su alto valor nutricional (Contreras R., 2014)

2.2.2. Contaminación de Suelos

La "contaminación del suelo" se refiere a la presencia dañina de sustancias químicas, ya sea de origen humano o natural, que afectan negativamente a los organismos que no están preparados para tolerarlas.

Ilustración 7: Cultivo de la Maca en Ninacaca



Aunque algunos contaminantes pueden ser naturales, la mayoría proviene de actividades humanas, y su complejidad y diversidad han aumentado debido al desarrollo industrial y agroquímico.

Esta contaminación, a menudo invisible a simple vista, se ha convertido en una amenaza oculta que perjudica la salud del suelo y los servicios que este proporciona a los ecosistemas. El suelo, utilizado como depósito de desechos sólidos y líquidos, ha acumulado contaminantes de la industrialización, minería y prácticas agrícolas intensivas.

La gravedad de esta problemática se ha vuelto alarmante y se identifica como una de las principales amenazas a las funciones del suelo en diversas partes del mundo. Sus consecuencias incluyen desequilibrios en los ciclos de nutrientes, acidificación del suelo y impactos en la salud humana y ambiental. A pesar de la magnitud del problema, las estimaciones globales sugieren que podría estar subestimado. Ejemplos concretos de contaminación, como el 19% de los suelos agrícolas en China o los 3 millones de sitios potencialmente contaminados en la Zona Económica Europea, ilustran la extensión del desafío, también evidenciado por más de 1,300 sitios contaminados en la Lista de Prioridades Nacionales del Superfondo en Estados Unidos.

En Perú, la minería representa alrededor del 10% del Producto Interno Bruto (PIB), con exportaciones mineras valoradas en 66 mil millones de dólares en 2022, lo que equivale aproximadamente al 57% del valor total de las exportaciones. Cerro de Pasco ha sido explotado industrialmente desde principios del siglo XX, aunque su historia minera se remonta al siglo XVII. En esa época, su riqueza en plata, zinc y plomo atrajo a buscadores de oro, convirtiéndola en la segunda ciudad más grande de Perú en aquel entonces, parte del virreinato español. Galeones cargados con plata y oro de sus montañas fueron enviados a Europa. Para los años cincuenta, las pequeñas minas subterráneas fueron reemplazadas por grandes minas a cielo abierto, incluida la mina Raúl Rojas.

En 1999, Volcán Compañía Minera S.A.A., el mayor productor de zinc y plata de Perú, adquirió la mina Raúl Rojas y otras operaciones de la estatal Centromín Perú. Actualmente, la empresa Volcán tiene siete unidades mineras, siete plantas concentradoras y una planta de lixiviación en Cerro de Pasco. Su mayor accionista es la suiza Glencore, que posee el 23% de Volcan. En junio de 2023, Volcan presentó activos totales de 1.9 mil millones de dólares y un

valor neto de 366.5 millones de dólares. La extracción en la mina Raúl Rojas se suspendió en 2013, pero en 2018 se reinició parcialmente en su lado sur.

Desde 2009, la ONG Source International ha analizado muestras ambientales en la ciudad de Cerro de Pasco, midiendo la contaminación del agua y el suelo, en los barrios de C.P. de Paragsha y Champamarca, así como en el río Ragra y los lagos Quiulacocha y Yanamate, que ahora actúan como balsas de estériles para residuos mineros. Su estudio más reciente, publicado en agosto, encontró concentraciones extremadamente altas de metales pesados como plomo, arsénico, mercurio y cadmio en el agua, el suelo y el aire, así como en la comida y en los espacios públicos utilizados principalmente por niños. Todas las concentraciones excedían los límites máximos de seguridad establecidos por los estándares peruanos e internacionales.

Los elementos metálicos presentes en Cerro de Pasco, son conocidos por causar cáncer y otras enfermedades. El envenenamiento por plomo puede causar problemas de comportamiento y aprendizaje, anemia, daño nervioso, cerebral y renal, e infertilidad. La inhalación de cadmio en altas dosis puede dañar los pulmones y ser mortal, y el manganeso puede desencadenar enfermedades neurológicas similares al Parkinson.

Los ríos y arroyos cercanos a las plantas procesadoras, zonas mineras y sitios de residuos en Cerro de Pasco están altamente contaminados. Por ejemplo, una muestra de agua del arroyo Quiulacocha, que recibe aguas residuales de la extracción minera en Paragsha, contenía 3200 veces más cadmio que el límite máximo permitido en Perú.

En este contexto, la evaluación y rehabilitación de suelos contaminados se han vuelto urgentes. A pesar de los esfuerzos nacionales, la complejidad y la falta de datos exhaustivos presentan desafíos significativos. Por lo tanto, la investigación científica y la implementación de regulaciones son cruciales para abordar esta amenaza global. Por lo que se busca dar solución a esta

problemática y a resumir las tecnologías más recientes y destacar los principales contaminantes que afectan la salud humana y el medio ambiente, con un enfoque especial en la contaminación en sistemas agrícolas que impactan la cadena alimentaria.

A. Metales pesados

Un "metal pesado" puede definirse de varias maneras, pero generalmente se refiere a elementos químicos con un peso atómico entre 63.55 (cobre, Cu) y 200.59 (mercurio, Hg), o a aquellos con una densidad entre 4 g/cm³ y 7 g/cm³. Estos metales, que incluyen el mercurio (Hg), plomo (Pb), cadmio (Cd) y talio (Tl), son conocidos por su elevada toxicidad, persistencia en el medio ambiente, capacidad de bioacumulación y biomagnificación, lo que significa que se acumulan en los organismos vivos alcanzando concentraciones mayores que las del medio ambiente, y estas concentraciones aumentan en la cadena alimentaria, provocando diversos efectos tóxicos físicos y psíquicos en los seres humanos.

a. Impacto en la salud humana:

La exposición prolongada a metales pesados como el plomo (Pb), mercurio (Hg), cadmio (Cd) y arsénico (As) puede causar daños graves a la salud humana, incluyendo problemas neurológicos, renales, hepáticos y cáncer.

Elementos traza tóxicos: Elementos como el bromo (Br) y el molibdeno (Mo) pueden causar enfermedades si se consumen en exceso. El bromo puede interferir con el sistema nervioso, mientras que el exceso de molibdeno puede causar gota o anemia.

b. Fuentes de contaminación:

Las actividades industriales como la minería, la manufactura y la quema de combustibles fósiles liberan metales pesados y elementos traza en el medio ambiente.

También las actividades agrícolas con el uso de fertilizantes, pesticidas y aguas residuales en la agricultura pueden aumentar la concentración de estos elementos en los suelos y aguas.

El uso doméstico, con productos como baterías, pinturas y dispositivos electrónicos también son fuentes de metales pesados cuando no se manejan adecuadamente al final de su vida útil.

c. Mecanismos de acumulación

- Bioacumulación: Algunos metales pesados y elementos traza pueden acumularse en los organismos vivos, aumentando su concentración a lo largo de la cadena alimentaria y causando efectos tóxicos a niveles tróficos superiores.
- Movilidad en el suelo: La capacidad de los metales pesados para moverse a través del suelo y entrar en los sistemas acuáticos depende de factores como el pH del suelo, la materia orgánica y la presencia de otros minerales.

d. Medidas de mitigación

- Remediación del suelo: Técnicas como la fitorremediación, donde plantas específicas se utilizan para extraer metales pesados del suelo, y la estabilización química, donde se añaden sustancias para inmovilizar los contaminantes, pueden ayudar a reducir la contaminación del suelo.
- Regulaciones y políticas: La implementación de normativas estrictas para limitar las emisiones de metales pesados y mejorar

la gestión de residuos industriales y domésticos es crucial para prevenir la contaminación.

B. Contaminación con metales pesados

Los metales pesados son contaminantes ambientales extremadamente peligrosos. Se caracterizan por su persistencia, capacidad de bioacumulación, biotransformación y alta toxicidad, lo que les permite permanecer en los ecosistemas durante largos períodos debido a su difícil degradación natural.

Se definen como elementos de elevado peso atómico y potencialmente tóxicos, empleados en procesos industriales. Entre ellos se encuentran el cadmio (Cd), cobre (Cu), plomo (Pb), mercurio (Hg) y níquel (Ni), que pueden ser perjudiciales para plantas y animales incluso en concentraciones bajas.

Desde una perspectiva de densidad, se consideran metales pesados aquellos con densidad superior a $4,5 \text{ g/cm}^3$, aunque en la bibliografía este valor puede variar entre 4 g/cm^3 y 7 g/cm^3 . Según Ruiz, no existe una definición precisa para los metales pesados, pero generalmente se refiere a un grupo de elementos y algunos de sus compuestos, que pueden ser metálicos, semimetálicos o incluso no metálicos, y que presentan altos niveles de contaminación y toxicidad. Es crucial considerar la toxicidad al definir metales pesados en el contexto de su impacto ambiental y en la salud humana.

Estos metales provienen de diversas fuentes, incluyendo su presencia natural en los suelos y su uso en numerosos procesos industriales como el galvanizado, la plomería, la minería, la pintura y la reparación de baterías. En este estudio se examina la acumulación de metales pesados resultante del cultivo de maca en el distrito de Ninacaca, provincia y región de Pasco.

Tabla 2: Casos sospechosos notificados por exposición a metales

Departamentos	Casos sospechosos	Porcentaje (%)	T.I.A x 100 000 Hab.
Pasco	781	51.8	492.97
Junín	422	28.0	332.61
Ucayali	116	7.7	213.07
Ayacucho	54	3.6	160.70
Lambayeque	48	3.2	4.13
Cajamarca	22	1.5	6.03
Piura	9	0.6	0.94
Callao	33	2.2	6.99
Madre de Dios	5	0.3	4.32
Apurímac	4	0.3	3.75
Lima	4	0.3	0.04
Huánuco	2	0.1	1.49
Loreto	3	0.2	0.36
Ica	2	0.1	1.46
La Libertad	2	0.1	1.88
Total	1507	100.0	10.60

87,5%

Fuente: Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades-CDC/MINSA *SE.: 52 (hasta el 31 de diciembre de 2016)

Tabla 3: Niveles de concentración distribución de casos

Departamentos	Categoría I (0 - 9,9 µg/dL)		Categoría II (10 - 19,9 µg/dL)		Total	%
		%		%		
Pasco	333	89.3	0	0.0	333	89.3
Junín	27	7.2	10	2.7	37	9.9
Callao	2	0.5	1	0.3	3	0.8
Total	362	97.1	11	2.9	373	100.0

Fuente: Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades

* SE: 52 (hasta al 31 de diciembre de 2016)

a. Plomo

Los metales pesados, como el plomo, son importantes realizar su estudio debido al daño que pueden causar en la salud humana y al impacto negativo en el suelo y el agua, que son las principales fuentes de exposición al plomo para las personas. Esta investigación tiene como objetivo revisar estudios que confirmen la presencia de plomo en el suelo y el agua, así como su presencia en la maca y analizar el efecto

que puede ocasionar en las personas. Para ello, se han revisado trabajos del Repositorio y revistas científicas.

Se ha demostrado que los suelos pueden contaminarse por diversas fuentes, como la explotación minera, la proximidad a fábricas e industrias metalúrgicas, la agricultura y la contaminación derivada del tránsito vehicular. Asimismo, el agua puede contaminarse tanto por la explotación minera legal como ilegal. Los pastos, verduras y frutas que se consumen a diario pueden bioacumular plomo.

Esto resulta preocupante, ya que, según la OMS, tan solo 5 $\mu\text{g/dL}$ de plomo en sangre puede causar daño en la salud humana. Esta información debe servir para que las autoridades responsables de la salud y el medio ambiente reflexionen sobre las medidas necesarias para mitigar y prevenir este grave daño a la salud de las personas.

b. Arsénico

El arsénico (As) es un elemento particularmente difícil de caracterizar en forma aislada, debido a que su química es muy compleja y a su vez existen diferentes compuestos del mismo que puede ser trivalente As (III) o pentavalente As (V) y están ampliamente distribuidos en la naturaleza (Agreda et al., 2005).citado por(Calcina, 2020).

c. Cadmio

El cadmio es un metal tóxico ampliamente distribuido en la naturaleza, principalmente asociado con los depósitos de zinc. Su movilidad en el medio ambiente depende del pH, el potencial redox, la cantidad de materia orgánica y la presencia de arcillas y óxidos de hierro. La mayoría del cadmio liberado proviene de actividades industriales, minería, metalurgia, fabricación y aplicación de fertilizantes fosfatados, así como de la incineración de residuos urbanos. Aunque su uso ha

disminuido en las últimas décadas debido a los riesgos para la salud, se sigue utilizando en diversas aplicaciones industriales.

La exposición al cadmio ocurre principalmente a través de la dieta y, en menor medida, por la inhalación de aerosoles que contienen compuestos de cadmio. Los efectos en la salud incluyen daño renal, osteoporosis y cáncer. Es crucial cumplir con las normativas sobre emisiones de cadmio y niveles permitidos en el medio ambiente, alimentos y agua, además de realizar controles regulares para evaluar el riesgo para la salud de las poblaciones expuestas.

Se prevé que la cantidad de cadmio en los suelos agrícolas de nuestro país disminuya en un promedio del 15% en los próximos 100 años

2.2.3. Minería a nivel Nacional

En Perú, la minería es una industria crucial para la inversión, producción, exportación y creación de empleos, tanto directos como indirectos. Sin embargo, el 50% de los conflictos sociales en el país están relacionados con esta actividad, principalmente debido al incumplimiento de acuerdos y la contaminación ambiental. Perú se destaca a nivel mundial como el principal productor de plata, el tercer productor de cobre y zinc, y ocupa el sexto lugar en la producción de oro.

El aumento de la demanda de estos minerales, impulsado por la entrada de China en el mercado mundial, ha llevado a un incremento significativo en los precios. Entre 2000 y 2011, las exportaciones mineras en Perú aumentaron de 5.000 a 35.000 millones de dólares. La minería contribuye con el 1,5% del PIB del país, está sujeta a 15 impuestos diferentes y genera aproximadamente 177.000 empleos directos y 650.000 indirectos, según datos de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía (De la Cruz Mera Carlos, 2021).

Además de los aspectos económicos y de empleo, es importante destacar que la minería en Perú también tiene un impacto significativo en el

medio ambiente y las comunidades locales. La explotación minera puede causar contaminación del suelo, agua y aire, afectando la salud de las personas y la biodiversidad de las zonas afectadas. Este impacto ambiental y social es una de las principales razones detrás de los conflictos sociales relacionados con la minería.

Para mitigar estos problemas, es fundamental que las empresas mineras cumplan con las regulaciones ambientales y los acuerdos con las comunidades locales. La implementación de prácticas mineras sostenibles y responsables puede ayudar a reducir la contaminación y mejorar las relaciones con las comunidades. Además, la participación activa del gobierno en la supervisión y control de las actividades mineras es esencial para garantizar que se cumplan las normativas y se protejan los intereses de las poblaciones afectadas.

Por otro lado, la minería también presenta oportunidades para el desarrollo sostenible si se maneja adecuadamente. Las inversiones en tecnología limpia, la rehabilitación de áreas mineras y el fortalecimiento de las capacidades locales pueden contribuir a un desarrollo económico más inclusivo y sostenible. Es crucial encontrar un equilibrio entre el crecimiento económico y la protección del medio ambiente y la salud pública para asegurar un futuro más sostenible para Perú.

A. Minería a nivel local (Cerro de Pasco)

La riqueza mineral de Perú está distribuida a lo largo de toda la cordillera, atravesando la mayoría de las regiones del país. Desarrollar una industria minera implica descentralizar la actividad económica, llevando desarrollo y crecimiento a diversas áreas. Esto también trae consigo la creación de nueva infraestructura vial y energética, más empleo, un mayor dinamismo en el comercio local y regional, así como beneficios fiscales como el Canon Minero, regalías y el Impuesto a la Renta.

Cerro de Pasco alberga varias minas polimetálicas cuya producción es fundamental tanto para la región como para el país. Esta región lidera en la producción de zinc, plomo y plata, además de contar con significativos recursos de cobre y oro.

La actividad magmática volcánica del Mioceno, principalmente dacítica, ha sido fundamental para la mineralización polimetálica y aurífera en Cerro de Pasco y Colquijirca. Esta actividad volcánica formó complejos de domos y diatremas relacionados con la mineralización, cuya edad se estima entre 10 y 15 millones de años. Una edad similar, de entre 9 y 11 millones de años, se ha registrado en la mina Raura, situada al oeste de la frontera de Pasco, en el territorio de Huánuco.

En las minas de Milpo y Atacocha, los depósitos parecen ser más antiguos, con dataciones de cuerpos porfiríticos que arrojan una antigüedad de 25 millones de años. Una edad similar se ha propuesto para la mina Uchucchacua, aunque la falta de dataciones radiométricas precisas impide tener una cronología clara de la actividad ígnea y de los depósitos en esta y otras minas como Huarón y Chungar.

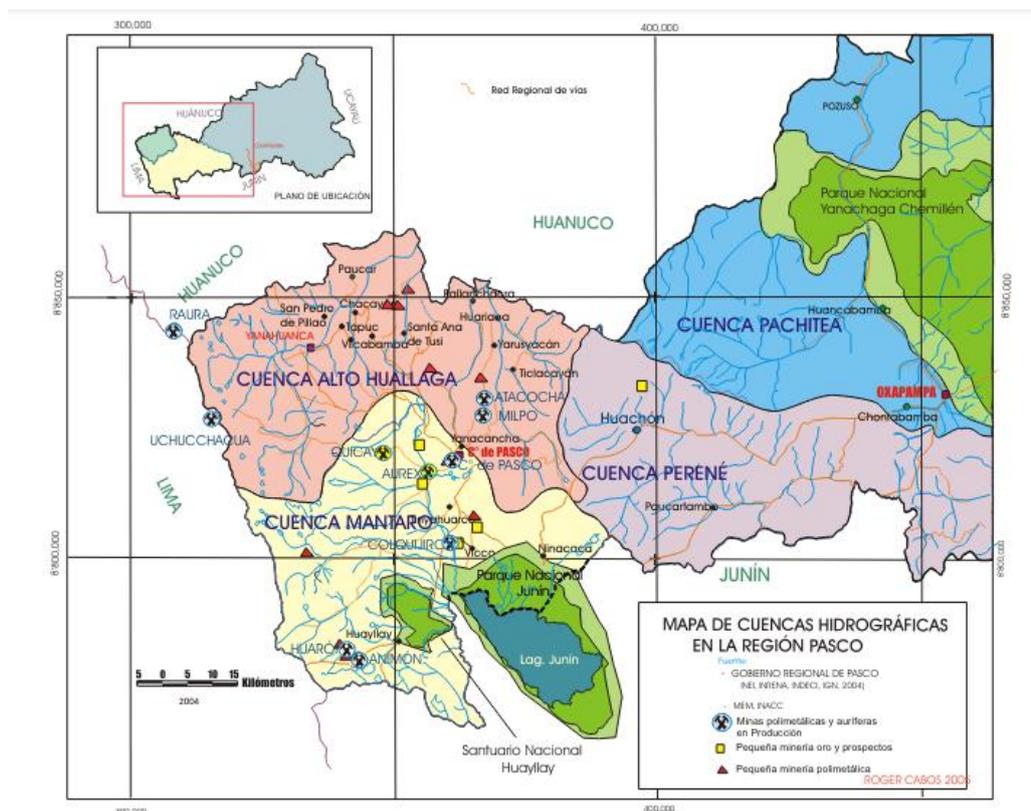
Los depósitos polimetálicos generalmente muestran varias etapas de mineralización y presentan una mineralogía simple, con minerales como cuarzo, pirita, esfalerita, galena y algunos sulfosales, característicos de depósitos de reemplazamiento.

Un descubrimiento geológico y económico importante es la mineralización en Marcapunta y Cerro de Pasco, que incluye minerales como enargita, electrum, telururos, galena, esfalerita, calcocita y digenita. Esta mineralización se encuentra en un entorno de alteración argílica avanzada con cuarzo, alunita y caolín, características típicas de los depósitos epitermales de alta sulfuración.

En la región, la mineralización aparece en vetas, cuerpos irregulares y mantos, principalmente en rocas calcáreas. Este es el caso de los depósitos en las calizas Pucará (Milpo, Atacocha, Cerro de Pasco, San Gregorio), Jumasha (Raura, Uchucchacua), Santa (Iscaycruz) y Calera (Colquijirca). También se encuentra en los bordes de las diatremas de Marcapunta y Cerro de Pasco.

En el depósito aurífero de Quicay, el oro se encuentra diseminado en un ambiente de alta sulfuración típico de los depósitos epitermales. En Huachón, se han identificado varias vetas angostas relacionadas con la actividad hidrotermal del Paleozoico (Cabos, 2005).

Ilustración 8: Mapa de las cuencas hidrográficas de la región Pasco



B. Contaminación ambiental por la actividad minera

Las principales cuencas hidrográficas y los suelos de la ciudad de Cerro de Pasco y las comunidades cercanas están gravemente afectados por la

contaminación minera y las aguas residuales domésticas, debido a la falta de sistemas de tratamiento adecuados. Esta situación provoca contaminación del suelo, aire y agua, ya que la actividad extractiva utiliza métodos inadecuados sin medidas de mitigación. Esto deteriora el medio ambiente, causando infertilidad en los suelos agrícolas y ganaderos, erosión, y la entrada de contaminantes en la cadena alimentaria, con múltiples impactos negativos en la salud de la población. La actividad minera en la provincia de Pasco genera un problema socioambiental y económico para los habitantes. La intoxicación por metales pesados se ha convertido en un grave problema de salud pública (Source, 2018).

2.3. Definición de términos básicos

A. Absorción

La absorción es el proceso mediante el cual una sustancia tóxica atraviesa las membranas celulares de un organismo, ingresando a través de la piel, los pulmones, el tracto digestivo o las branquias, y luego se distribuye a otros órganos del cuerpo.

B. Ambiente terrestre

Los ambientes terrestres se refieren a aquellos que se encuentran en la superficie terrestre. Algunos ejemplos son los valles, planicie, bosques, las selvas y los desiertos.

C. Áreas de influencia

El área de influencia es el perímetro inmediato alrededor de un emplazamiento donde se ha detectado o hay indicios de posible contaminación del suelo.

D. Área de Potencial Interés

El área de potencial interés es la extensión de terreno donde se llevarán a cabo las labores de muestreo. Estas áreas se identifican durante la Fase de Identificación y presentan evidencia de posible contaminación del suelo.

E. Bioensayo de toxicidad

Es una prueba que evalúa el impacto de un agente químico en organismos vivos, determinando tanto la intensidad como el tipo de efecto que causa cuando los organismos están expuestos a ese agente en condiciones controladas.

F. Bioacumulación

La bioacumulación es el proceso por el cual los contaminantes se concentran y acumulan en el ambiente o en los tejidos de los organismos a través de diversas rutas de exposición, como el aire, agua, suelo, sedimentos y alimentos.

G. Biodisponibilidad

La biodisponibilidad es la característica de las sustancias tóxicas que indica la facilidad con la que pueden ser incorporadas por los seres vivos mediante procesos como inhalación, ingesta o absorción. Esta facilidad está influenciada por diversos parámetros, como las rutas de exposición, las características fisiológicas del receptor y las propiedades químicas del xenobiótico.

H. Caracterización de sitios contaminados

La caracterización de sitios contaminados es el proceso de determinar cualitativa y cuantitativamente los elementos de característica químico o biológico presentes en un área, proveniente de un material o residuo peligroso, para estimar la magnitud y tipo de riesgos asociados a dicha contaminación.

I. Calidad de suelos

Se refiere a la capacidad natural del suelo, para cumplir diversas funciones como: ecológico agronómica, económica, cultural, arqueológica y recreacional. Esto depende del estado del suelo en función de sus

características físicas, químicas y biológicas, que le permiten sustentar un potencial ecosistémico tanto natural como antropogénico.

J. Cancerígeno(a)

Un cancerígeno es cualquier sustancia que puede causar cáncer.

K. Concentración

La concentración se refiere a la relación entre una sustancia disuelta o contenida en una cantidad dada de otra sustancia.

L. Concentración total

La concentración total es la masa del elemento químico presente en una unidad de masa del suelo en estudio. Se expresa en términos del Sistema General de Unidades de Medida y se obtiene mediante la extracción del suelo a través de digestión ácida (agua regia) o alcalina.

M. Contaminación

La contaminación se define como la adición de un compuesto químico o una mezcla de sustancias en un lugar no deseado, como el aire, el agua o el suelo, donde se logra ocasionar efectos adversos en el ambiente o en la salud humana.

N. Efecto adverso o dañino

Un efecto adverso o dañino se refiere a cualquier variación o cambio en lo referente a: fisiología, morfología, desarrollo, crecimiento, o reproducción de un organismo, dentro de una población, comunidad o ecosistema que resulta en la disminución de su capacidad funcional y en la pérdida de su capacidad para compensar los efectos de factores de estrés adicionales. Este efecto se determina por la dosis y condiciones a la exposición, como también referente a la vía de ingreso, la duración y frecuencia de las exposiciones, y la tasa de contacto con el medio contaminado, entre otros.

O. Efecto tóxico o respuesta tóxica

Se refiere a cualquier alteración en el funcionamiento normal del cuerpo que resulta de la exposición a sustancias tóxicas. Solo se consideran como desviaciones significativas los cambios irreversibles o aquellos que persisten por un período prolongado después de que cesa la exposición. Los tipos de efectos tóxicos que produce una sustancia se utilizan para clasificar los tóxicos en general en: (1) cancerígenos; (2) no cancerígenos; y (3) tóxicos para el desarrollo.

P. Estándar de Calidad Ambiental (ECA)

Un Estándar de Calidad Ambiental (ECA) es un criterio que determina la concentración o cantidad permitida de ciertos elementos, sustancias, o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el aire, agua o suelo, de acuerdo a su función como receptores. Este criterio asegura que dichos niveles no supongan un riesgo considerable para la salud humana ni para el medio ambiente en su conjunto. Según el parámetro específico al que se aplique, los niveles permitidos pueden establecerse como valores máximos, mínimos o rangos aceptables.

Q. Muestreo biológico o dosimetría interna

El muestreo biológico, o dosimetría interna, consiste en medir de manera cuantitativa la concentración de un tóxico o sus metabolitos en diversos medios corporales del organismo que ha estado expuesto. Este método se emplea para estimar la cantidad de exposición que los diferentes tejidos del cuerpo han experimentado, con el objetivo de evaluar la magnitud de la exposición ambiental y confirmar la presencia de una exposición efectiva. La detección del tóxico dentro del organismo actúa como evidencia de que ha habido exposición.

R. Muestreo de Detalle

El muestreo de detalle tiene como finalidad determinar la extensión y el volumen del suelo contaminado, así como de otros medios afectados por las sustancias señaladas en el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM.

S. Muestreo de Identificación

El muestreo de identificación tiene como propósito verificar si el suelo está contaminado. Toda mención al muestreo exploratorio en el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM se interpretará como una referencia al muestreo de identificación.

T. Muestreo de Nivel de Fondo

El muestreo de nivel de fondo busca identificar el nivel de fondo en el suelo.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

El nivel de concentración de metales pesados como: Pb y Cd en la maca son altos según la OMS.

2.4.2. Hipótesis específicas

- El nivel de concentración de plomo en la maca es mayor a 0.30 mg/kg
- El nivel de concentración de cadmio en la planta nativa maca es mayor a 0.20 mg/kg

2.5. Identificación de las variables

2.5.1. Variable independiente

El nivel de contenido de metales pesados

2.5.2. Variable dependiente

Planta nativa maca

2.6. Definición Operacional de variables e indicadores.

Operacionalización las variables de estudio, con el fin de hallar los objetivos de la presente investigación.

Tabla 4

Matriz de Operacionalización de las variables

	HIPOTESIS	VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	INDICADORES	INDICE
G E N E R A L	El nivel de concentracion de metales pesados en la de la planta nativa maca son altos	Variable Independiente El nivel de contenido de metales pesados	los niveles de contaminación son proporcionales a la distancia de la fuente de contaminación.	Plomo	
E S P E C I F I C O	El nivel de contenido de plomo en las hojas, y raíz de de la planta nativa maca es mayor a 20 ppm	Variable dependiente	La planta nativa maca	Cadmio	➤ Hoja ➤ Raíz
	El nivel de contenido de cadmio en las hojas, tallo y raíz de la planta nativa maca es mayor a 15 ppm	Maca en suelos contaminados			

CAPITULO III

METODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACION

3.1. Tipo de Investigación

El enfoque de investigación es tanto experimental como transversal y de tipo aplicado. Es experimental porque implicó un análisis de muestras de la planta nativa maca en un laboratorio para determinar los niveles de concentración de metales pesados en las raíces. Esto debido a un proceso controlado de análisis en condiciones de laboratorio para obtener resultados deben ser representativos, validados y específicos.

Por otro lado, es transversal porque las muestras de la planta se recolectaron solo una vez en un momento determinado en toda el área identificada de la zona rural de Ninacaca-Pasco. Esto significa que las muestras se obtienen en un solo período de tiempo y no se realizó recolecciones adicionales en el futuro para este estudio específico. La investigación abarcó un único punto en el tiempo para obtener una instantánea de los niveles de metales pesados en las plantas de maca en esa área específica

3.2. Nivel de Investigación

El nivel de investigación es claramente exploratorio y aplicado, ya que tiene un propósito práctico y concreto: evaluar los niveles de concentración de metales pesados en la planta nativa maca. En lugar de buscar comprender fenómenos abstractos o teóricos, este estudio se enfoca en obtener información específica que pueda tener implicaciones directas en la práctica, como la salud humana o la gestión ambiental. Por lo tanto, se sitúa en el ámbito de la investigación aplicada, donde los resultados pueden ser utilizados para resolver problemas concretos o tomar decisiones prácticas.

3.3. Métodos de investigación

El método de la investigación utilizado en este estudio se basa en el enfoque hipotético deductivo y el método científico descriptivo y analítico. En primer lugar, se empleará el enfoque hipotético deductivo para probar una hipótesis y aplicar principios generales a casos específicos. En este contexto, el método científico específico será descriptivo y analítico, ya que se centró en analizar las variables e indicadores relacionados con los niveles de concentración contenido de metales pesados en la especie de la planta nativa maca estudiada.

El proceso de investigación se dividirá en tres etapas:

A. Trabajo de Gabinete

Se realizó la recolección de información relevante sobre la planta nativa maca mediante la revisión de artículos científicos y tesis previamente desarrolladas sobre el tema.

B. Trabajo de Campo

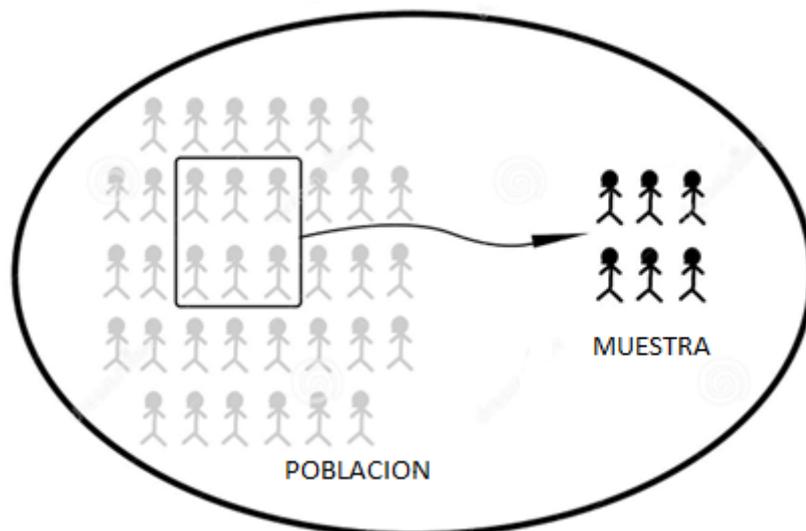
Se ha identificado las áreas donde crece la planta de la maca y se georreferenció estas zonas para recolectar muestras de hojas y raíces en la zona rural de Ninacaca. Para la recolección de muestras se siguió las

directrices del laboratorio acreditado por INACAL. Además, se tomaron muestras de suelo de las áreas identificadas.

C. Laboratorio

Las muestras recolectadas se analizaron en el laboratorio de análisis de aguas y suelos del instituto de investigación Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion, utilizando métodos científicamente desarrollados y estandarizados. Se utilizará el sistema de la AOAC (Official Methods of Analysis - OMA), publicado por AOAC International, que es un método reconocido y ampliamente utilizado en la industria alimentaria para analizar la composición de muestras.

3.4. Diseño de investigación

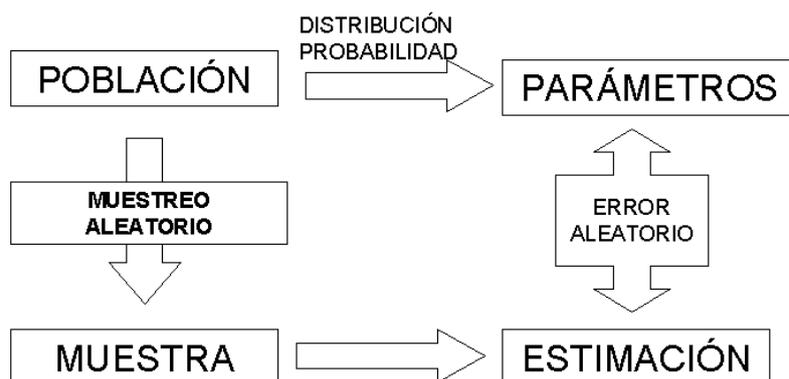


Donde:

Se utilizó un diseño experimental en esta investigación, manipulando una variable no comprobada bajo condiciones estrictamente controladas, con el objetivo de describir cómo y por qué se produce una situación o evento específico.

3.5. Población y muestra

La población de estudio se conformó por las plantas nativas de maca que se encuentran en crecimiento en la zona rural del distrito de Ninacaca. Se recolecto muestras de raíces y hojas de estas plantas para su posterior análisis en el laboratorio.



3.5.1. Muestra

Se recolecto las muestras según un muestreo aleatorio simple de los órganos no reproductivos, es decir, raíces y hojas de la planta de maca, para evaluar el contenido de metales pesados. Se tomo un total de 08 muestras, según las coordenadas geográficas, de los cuales se realizó dos muestras de los cuales se analizaron.

COORDENADAS UTM		
ESTE	NORTE	ALTITUD
376571	8797758	4141.7 m
376638	8797804	4141.1 m
376657	8797816	4141.8 m
376324	8797710	4137.4 m
376658	8797817	4142.5 m
376655	8797818	4142.8 m
376739	8797772	4146.2 m
376347	8797659	4136.4 m

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas son procedimientos esenciales para la recopilación de información, permitiendo al investigador acercarse a los hechos y obtener conocimientos. En este estudio, se empleó la técnica de investigación analítica de laboratorio. Los instrumentos utilizados son aquellos que facilitan la obtención de evidencia y, cuando proporcionan datos en unidades de medida, se consideran científicos.

3.6.1. Trabajos de campo

Las técnicas e instrumentos de recolección de datos en campo, se realizó para obtener las muestras:

Visita a campo para la identificación y recolección de las muestras a evaluar

Instrumentos

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

3.6.2. Trabajos de laboratorio

Los trabajos de laboratorio, se realizó en el “Laboratorio de Análisis de aguas y suelos” de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión y el laboratorio acreditado Xertek life.

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

A. Procedimiento de Selección

Se recopiló información a partir de antecedentes locales, nacionales e internacionales.

B. Procedimiento de Validación

Una vez obtenidos los resultados del laboratorio acreditado por INACAL, se procedió a validar los resultados, los cuales fueron positivos.

C. Procedimiento de Confiabilidad de los Instrumentos de Investigación

Para asegurar la confiabilidad de los instrumentos, se verificó el proceso de monitoreo y análisis, el cual cumplió con los protocolos establecidos por el laboratorio acreditado por INACAL.

3.8. Técnicas de procesamientos y análisis de datos

La recopilación de datos se llevó a cabo utilizando formatos diseñados específicamente para el estudio de puntos, con un enfoque principal en los niveles de metales pesados como variable principal.

3.9. Tratamiento Estadístico

Los datos se evaluaron de manera descriptiva para obtener los estadísticos. Posteriormente, se llevará a cabo una evaluación estadística mediante inferencias.

Prueba estadística

La prueba t de Student para una sola muestra se emplea en la presente es utilizado para determinar si la media de una muestra difiere significativamente de un valor conocido o hipotético, generalmente una media poblacional de referencia. Esta prueba compara la media observada en los datos de la muestra con el valor hipotético, calculando la t de Student como la diferencia entre ambas medias dividida por el error estándar de la muestra.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

Este estudio se realizó conforme al código de ética establecido, en particular el artículo 4, capítulo 9, inciso a, que enfatiza la protección del medio ambiente, la diversidad biológica, los recursos genéticos y los procesos

ecológicos ante cualquier impacto negativo derivado de actividades de investigación.

Originalidad:

En la elaboración del proyecto de investigación, se han citado adecuadamente todos los textos mencionados. Esto asegura una correcta ejecución del estudio. Todas las referencias bibliográficas se han considerado, los autores han sido citados correctamente y se han incluido en la bibliografía sin alterar su contenido original.

Reconocimiento de fuentes:

Las fuentes de los diferentes autores se han citado correctamente en la bibliografía, respetando su contenido original y siguiendo el formato APA de la séptima edición. Esto garantiza el reconocimiento de las contribuciones de los autores originales y el respeto a la propiedad intelectual.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

El estudio de la presencia de metales pesados en la planta *Lepidium meyenii* (Maca) en la zona rural del distrito de Ninacaca, en la Provincia y Región de Pasco, requiere el uso de una metodología detallada tanto en el trabajo de campo como en el análisis de laboratorio.

Inicialmente, el trabajo de campo implicó la selección de sitios de muestreo representativos donde la maca es cultivada extensamente. Se toman muestras del suelo y de las plantas de maca en diferentes etapas de crecimiento para evaluar la acumulación de metales a lo largo del tiempo de su desarrollo hasta la etapa de la cosecha. Además, se recopilan datos sobre prácticas agrícolas locales, tipo de suelo, y condiciones ambientales, que influyen en los niveles de metales pesados en las plantas.

En la ciudad de Cerro de Pasco, hay agroindustria para procesar la maca en harina y una planta de enfriamiento de leche con capacidad de 4,000 litros diarios, aunque actualmente solo se usan 1,000 litros. En el Distrito de Ninacaca la maca se cultiva en altitudes superiores a los 4,000 metros en clima seco, siendo esta zona ideal para su producción, incluso superior a Junín, con una mayor variedad de colores. El año 2014 había 180 ha dedicadas a la maca en

Pasco, pero debido a la alta demanda del mercado chino, la superficie cultivada aumentó a 1,000 ha y el precio de la harina de maca subió de 8 a 80 soles por kg. Sin embargo, la maca agota los micronutrientes del suelo, por lo que solo se puede cultivar durante dos temporadas y luego dejarlo descansar por 10 años. Además, el proceso de producción es largo, tardando actualmente tres años (Ministerio de la producción, 2015).

Castaño-Corredor (2008) analiza la composición de la muestra que el contenido de proteínas oscila entre 8,87% y 11,60%, mientras que los lípidos varían entre 1,09% y 2,20%. Los carbohidratos representan la mayor proporción, con valores entre 54,60% y 60,00%. La fibra oscila entre 8,23% y 9,08%, y las cenizas se encuentran en un rango de 4,90% a 5,00%, como minerales encuentra por 100 g de materia seca de maca destacan: calcio 247 mg, fósforo 183 mg y hierro 14,7 mg

Ilustración 9: Recolección de muestras de maca en Ninacaca



Ilustración 10: Toma de muestra de la maca en Ninacaca



En el laboratorio, las muestras recolectadas son preparadas para el análisis mediante técnicas como la digestión ácida, que permite la extracción eficiente de metales del tejido de la planta y del suelo. Los metales pesados como el plomo, cadmio, arsénico, y mercurio son cuantificados utilizando técnicas avanzadas como la espectrometría de absorción atómica o la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS). Estas técnicas proporcionan una medida precisa de la concentración de metales pesados, esencial para evaluar los riesgos potenciales para la salud humana y para el establecimiento de normativas de seguridad alimentaria.

Figura 2

Parcela del sembrío de la planta *Lepidium meyenii* (Maca)



Figura 3

Parcela del cultivo, con la recolección de la muestra de la planta *Lepidium meyenii* (Maca)



4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.

Estos resultados indican las concentraciones de diferentes metales pesados encontrados en la planta de maca en la zona rural de Ninacaca en una sola corrida de una sola muestra

Tabla 5

Resultados de la concentración de metales

Metal Pesado	Concentración en Maca (mg/kg)
Arsénico (As)	0.049
Cadmio (Cd)	0.005
Plomo (Pb)	0.01
Mercurio (Hg)	0.005
Cromo (Cr)	ND

Tabla 6

Cantidad de plomo en la maca

Cantidad	Concentraciones de Pb (mg/Kg)
1	0.118
2	0.188
3	0.201
4	0.348
5	0.058
6	0.218
7	0.081
8	0.099

Los resultados de la tabla 5 muestran variaciones en las concentraciones de plomo (Pb) en diferentes muestras, con valores que oscilan entre 0.058 mg/Kg y 0.348 mg/Kg. La concentración más baja se encuentra en la muestra 5 (0.058 mg/Kg) y la más alta en la muestra 4 (0.348 mg/Kg).

4.3. Prueba de Hipótesis

Para evaluar si los niveles de concentración de plomo y cadmio en la maca son altos, es necesario un umbral o un estándar de referencia para definir

lo que se considera "alto". Estos umbrales generalmente provienen de regulaciones nacionales o internacionales sobre la seguridad alimentaria.

Para ello empleare las normas establecidas por la OMS, si consideramos los límites máximos permitidos para plomo y cadmio en productos alimenticios, podríamos usar esos valores como referencia. A menudo, estos límites son aproximadamente 0.2 mg/kg para cadmio y 0.3 mg/kg para plomo en productos agrícolas destinados al consumo humano.

Utilizaremos la prueba estadística de una muestra para ver si las medias observadas de plomo y cadmio están significativamente por debajo de estos umbrales, lo que indicaría que los niveles no son altos.

Según la comparación directa con los umbrales de referencia, tanto las concentraciones de cadmio como de plomo en la maca son considerablemente más bajas que los límites considerados altos. Aquí están los detalles:

Cadmio: Concentración observada de 0.005 mg/kg frente a un umbral de 0.2 mg/kg. Esta concentración no es alta.

Plomo: Concentración observada de 0.01 mg/kg frente a un umbral de 0.3 mg/kg. Esta concentración tampoco es alta.

Tabla 7
Prueba de hipótesis

Valor de prueba = 0.3						
				95% de intervalo de confianza de la diferencia		
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Inferior	Superior
Concentraciones de Pb (mg/Kg)	-	7	0.005	-0.136125	-0.21555	-0.05670
	4.053					

H0 ($\mu > \mu_1$): El nivel de concentración de metales pesados como: plomo y cadmio en la maca son altos según la OMS

H1 ($\mu < \mu_1$): El nivel de concentración de metales pesados como: plomo y cadmio en la maca no son altos según la OMS

Interpretación:

Basado en la tabla 6 de rechaza la Hipótesis nula, por lo que se afirma que los niveles de concentración de metales pesados como: plomo y cadmio en la maca no son altos según la OMS

Esto indica que la hipótesis de que las concentraciones de plomo y cadmio en la maca son altas no se sostiene con los datos presentados. Por lo tanto, podemos concluir que los niveles de estos metales pesados en la maca cultivada en la zona de Ninacaca son bajos según los estándares utilizados

4.4. Discusión de resultados

La importancia y el impacto del estudio sobre la presencia de metales pesados en la planta de maca (*Lepidium meyenii*) cultivada en Ninacaca, Pasco, se pueden evaluar considerando su relevancia para la seguridad alimentaria, la salud pública y el valor comercial de la maca, un producto importante tanto a nivel local como internacional. El estudio ayuda a entender cómo los metales pesados podrían influir en la composición química y las propiedades medicinales de la maca, dado que cualquier contaminación podría alterar sus beneficios nutricionales y farmacológicos reconocidos.

Según Piacente et al. (2002), la identificación de compuestos específicos como los glucosinolatos en la maca es crucial porque poseen actividades biológicas significativas. La presencia de metales pesados en el suelo puede influir en la concentración y la efectividad de estos metabolitos secundarios. El estudio actual de Ninacaca es relevante porque establece un precedente al demostrar que los niveles de metales pesados son bajos, lo que implica que la calidad de estos compuestos importantes podría estar preservada en esta región.

Gonzales et al. (2003) exploraron cómo la maca afecta los niveles hormonales, lo que es vital para sus usos en la mejora de la fertilidad y el rendimiento sexual. Los metales pesados pueden alterar la composición química

de la maca y, por lo tanto, su eficacia en tales aplicaciones. Los resultados del estudio en Ninacaca sugieren que la contaminación por metales no es una preocupación significativa en esta área, favoreciendo así la integridad de sus efectos hormonales.

El análisis exhaustivo de Gonzales (2011) sobre las propiedades de la maca resalta la importancia de las condiciones de cultivo para la calidad final del producto. El estudio sobre los metales pesados complementa esta perspectiva al ofrecer evidencia directa de que las prácticas de cultivo en Ninacaca no comprometen la calidad y la seguridad de la maca debido a la contaminación por metales pesados.

CONCLUSIONES

Los resultados del estudio indican que las concentraciones de plomo en *Lepidium meyenii* (Maca) cultivada en el distrito de Ninacaca están dentro de los límites seguros establecidos por las normativas internacionales para productos consumibles. Esta observación es crucial, dado que el plomo es un metal pesado tóxico y su presencia en niveles bajos refuerza la seguridad del uso de Maca como suplemento dietético y medicinal. Esta información es fundamental para los agricultores y consumidores, asegurando que el cultivo de Maca en esta región no representa un riesgo para la salud debido a la contaminación por plomo.

Similarmente, las concentraciones de cadmio encontradas en la planta están por debajo de los umbrales considerados peligrosos para el consumo humano. El cadmio es particularmente preocupante debido a su alta toxicidad y capacidad para acumularse en el cuerpo humano a lo largo del tiempo. El cumplimiento de los estándares de seguridad para este metal pesado contribuye positivamente a la percepción de la Maca como un producto natural seguro y saludable, apoyando su expansión en los mercados nacionales e internacionales.

La relevancia del estudio radica en proporcionar una base científica para afirmar la seguridad y la calidad de la maca cultivada en Ninacaca respecto a la contaminación por metales pesados, asegurando que sus propiedades beneficiosas permanezcan intactas. Esto es vital para mantener la confianza tanto en los mercados locales como internacionales, y respalda la promoción de la maca de Ninacaca como un producto seguro y de alta calidad.

RECOMENDACIONES

Al realizar estudios sobre la presencia de metales pesados en la planta *Lepidium meyenii* (Maca), especialmente en una región específica como Ninacaca, es crucial considerar varios aspectos para garantizar la validez y relevancia de los resultados. Aquí te dejo cinco recomendaciones detalladas:

Es esencial seleccionar sitios de muestreo representativos de la región de Ninacaca para asegurar que los resultados sean aplicables a toda el área de estudio. Se deben considerar factores como la proximidad a posibles fuentes de contaminación (como actividades mineras o industriales), así como variaciones en el tipo de suelo y prácticas agrícolas. La selección estratégica de estos sitios permitirá obtener una imagen más clara de la distribución y concentración de metales pesados en la Maca cultivada en diferentes condiciones.

Implementar métodos de análisis químico estandarizados y validados para la detección de metales pesados es crucial. Técnicas como la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) o la espectrofotometría de absorción atómica deben ser utilizadas para garantizar la precisión y fiabilidad de los resultados. Además, es recomendable realizar análisis de control de calidad, incluyendo muestras en blanco y estándares de referencia, para validar los métodos analíticos utilizados.

Además de analizar las concentraciones de metales pesados, es importante evaluar cómo las condiciones ambientales y las prácticas agrícolas pueden afectar la acumulación de estos metales en la Maca. Esto incluye estudiar variables como el pH del suelo, el contenido de materia orgánica, y la presencia de otros contaminantes que pueden influir en la movilidad y biodisponibilidad de los metales pesados. Los resultados pueden ofrecer información valiosa para desarrollar estrategias de manejo que minimicen la absorción de metales pesados por parte de las plantas.

Involucrar a los agricultores y habitantes locales en el estudio puede proporcionar insights adicionales sobre prácticas de cultivo históricas y actuales que podrían influir en la presencia de metales pesados en la Maca. Además, la educación y

el intercambio de información con la comunidad pueden ayudar a implementar prácticas de cultivo más seguras y a mejorar la aceptación y el impacto de las medidas correctivas sugeridas basadas en los hallazgos del estudio.

Dado que las concentraciones de metales pesados en el suelo y las plantas pueden variar con el tiempo debido a factores como el cambio climático, la erosión del suelo y las alteraciones en las actividades industriales y agrícolas, es recomendable establecer un programa de monitoreo a largo plazo. Esto permitirá rastrear las tendencias y cambios en las concentraciones de metales pesados y evaluar la efectividad de las estrategias de manejo implementadas para reducir la exposición de la Maca a estos contaminantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Calcina, J. A. C. (2020). Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.
- Carhuaricra, A. J. Q. (2020). Fitorremediación con *ricinus communis* para el tratamiento de suelos contaminados con plomo en la ciudad de Cerro de Pasco.
- Cartea, M. E., Vilar, M., Francisco, M., & Lema, M. (2006). *Brassica rapa*, *Brassica nigra*, *Brassica oleracea*, *Brassica juncea*, *Brassica napus*. 1–20.
- De la Cruz Mera Carlos. (2021). Niveles de contenido de Plomo y Zinc en órganos no reproductivos de *Polylepis sp.* en tres localidades de Pasco.
- García, C., Moreno, J. L., Teresa, M., & Polo, A. (2002). Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo.
- Gonzales, G. F., Córdova, A., Vega, K., Chung, A., Villena, A., & Góñez, C. (2003). Effect of *Lepidium meyenii* (Maca) on sexual desire and its absent relationship with serum testosterone levels in adult healthy men. *Andrologia*, 34(6), 367-372.
- Gonzales, G. F. (2011). Ethnobiology and ethnopharmacology of *Lepidium meyenii* (Maca), a plant from the Peruvian highlands. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2011, Article ID 193496.
- J.M. Becerril et al. (2007). Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación. *Ecosistemas*, 16(2), 50–55. <http://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/128>
- Kevin Roger, L. V. (2017). Facultad de Ingeniería.
- Malaga, C. E. C. (n.d.). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- MINAM. (2016). Glosario de términos. 1–17.
- Ministerio de la Producción. (2015). Estudio de diagnóstico de crecimiento Región Pasco.
- Muñoz-Castellanos, L. N., Nevárez-Moorillón, G. V., Ballinas-Casarrubias, M. L., & Peralta-Pérez, M. R. (2010). Fitorremediación como una alternativa para el tratamiento de suelos contaminados. *Toctli*(1:3), 1–9.

- Prieto Méndez, J., González Ramírez, C. A., Román Gutiérrez, A. D. ., & Prieto García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29–44. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911243003>
- Piacente, S., Carbone, V., Plaza, A., Zampelli, A., & Pizza, C. (2002). Investigation of the tuber constituents of maca (*Lepidium meyenii* Walp.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(20), 5621-5625. doi:10.1021/jf020280x
- Ramos, J. R. (2015). Estudio del proceso de fitovolatilización de humedales construidos. Declaración de Autoría.
- Riera, J. U. P. (2014). Universidad técnica de cotopaxi.
- Robles Morales, E. G., Medina Escudero, A. M., & Medina Escudero, C. S. (2019). La contaminación del aire por el material particulado y su relación con las enfermedades de tipo respiratorio en la población de Cerro de Pasco (2010 y 2016). *Industrial Data*, 22(1), 173–186. <https://doi.org/10.15381/idata.v22i1.16533>
- Torres-Gonzales, Y., Rojas-Carrizales, A. G., Salas-Contreras, W. H., & Hinojosa-Benavides, R. A. (2021). Fitorremediación de Suelos Contaminados por Metales Pesados. *Scientific Research Journal CIDI*, 1(1), 25–36. <https://doi.org/10.53942/srjcdi.v1i1.43>
- Yulieth C. Reyes¹, I. V., & , Omar E. Torres¹ Mercedes Díaz², E. E. G. 1. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en la salud, ambiente y seguridad alimentaria. 16, 66–77.

ANEXOS

Anexo 1



000220

ORGANISMO DE INSPECCIÓN ACREDITACIÓN
POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL
DACON REGISTRO N° LE - 151



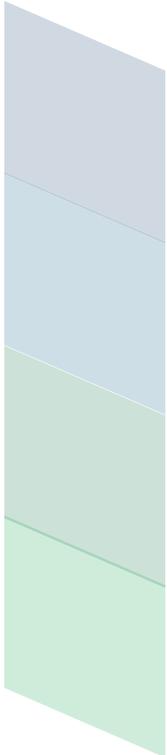
INFORME DE ENSAYO N° HB21060001

CON VALOR OFICIAL

(CUALITATIVO Y CUANTITATIVO)

Código del cliente						Maca-Ninacaca
Código del laboratorio						HB21060001.09
Tipo de producto (Matríz)						Planta Maca
Fecha de muestreo						03/06/2024
Hora de muestreo						11:55
Cadena de custodia						2183
NOMBRE CIENTIFICO	CLASE	DIVISIÓN	ESPECIE	FAMILIA	METALES	CONCENTRACIÓN mg/kg
Lepidium meyenii	Magnoliopsida	Magnoliophyta	Lepidium meyenii; Walpers, 1843	Brassicaceae	Arsénico (As)	0.049
					Cadmio (Cd)	0.005
					Plomo (Pb)	0.01
					Mercurio (Hg)	0.005
					Cromo (Cr)	ND


Carlos Guevara Cordova
Supervisor de Lab. Tirobotologica
CIR-11084



Anexo 2 Matriz de consistencia

Título: Estudio de la presencia de metales pesados en la planta *Lepidium meyenii* (Maca), en crecimiento en la zona rural del distrito de Ninacaca, situado en la Provincia y Región de Pasco

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	MUESTRA	DISEÑO	ESTADISTICA
<p>Problema General ¿Cuál es la concentración de la presencia de metales pesados en la planta <i>Lepidium meyenii</i> (Maca), en crecimiento en la zona rural del distrito de Ninacaca, situado en la Provincia y Región de Pasco?</p>	<p>Objetivo General Determinar la concentración de la presencia de metales pesados en la planta <i>Lepidium meyenii</i> (Maca), en crecimiento en la zona rural del distrito de Ninacaca, situado en la Provincia y Región de Pasco.</p>	<p>Hipótesis General El nivel de concentración de metales pesados como: plomo y cadmio en la maca son altos según la OMS.</p>	<p>V.I El nivel de contenido de metales pesados</p>	<p>Población El nivel de contenido de metales pesados en la maca</p>	<p>Método Hipotético - deductivo</p>	<p>Estadística Inferencial</p>
<p>Problemas Específicos ¿Cuál es la concentración de la presencia de plomo en la planta <i>Lepidium meyenii</i> (Maca), en crecimiento en la zona rural del distrito de Ninacaca, situado en la Provincia y Región de Pasco?</p>	<p>Objetivos Específicos Determinar la concentración de la presencia de plomo en la planta <i>Lepidium meyenii</i> (Maca), en crecimiento en la zona rural del distrito de Ninacaca, situado en la Provincia y Región de Pasco.</p>	<p>Hipótesis Específicas El nivel de concentración de plomo de la planta nativa maca es mayor a 0.30 mg/kg</p>	<p>V.D Planta nativa Colle (Buddleja coriácea) suelos contaminados</p>	<p>Muestra Muestreo intencionado no probabilístico</p>	<p>Nivel de investigación Causal</p>	<p>Validación de hipótesis Pruebas no paramétricas</p>
<p>¿Cuál es la concentración de la presencia de cadmio en la planta <i>Lepidium meyenii</i> (Maca), en crecimiento en la zona rural del distrito de Ninacaca, situado en la Provincia y Región de Pasco?</p>	<p>Determinar concentración de la presencia de cadmio en la planta <i>Lepidium meyenii</i> (Maca), en crecimiento en la zona rural del distrito de Ninacaca, situado en la Provincia y Región de Pasco.</p>	<p>El nivel de concentración de cadmio en de la planta nativa maca es mayor a 0.20 mg/kg</p>		<p>No Experimental</p>	<p>Diseño</p>	<p>Rho de Spearman</p>

Anexo 4 Cultivo de maca



Anexo 5 Toma de Muestra



Anexo 6 Lugar de Ninacaca donde se realiza la toma de muestra



Anexo 7 Parcela de cultivo de la maca en la zona de Ninacaca

