

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DEL AMBIENTE



TESIS

**“CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN SUELOS
AGRÍCOLAS Y *Lepidium meyenii* Walpers – JUNÍN Y
CARHUAMAYO”**

PRESENTADA POR LA BACHILLER:

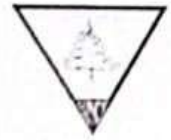
DIANA TERESA BAO CÓNDOR

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERA FORESTAL Y AMBIENTAL

HUANCAYO – PERÚ

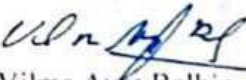
2024



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional del Centro del Perú – Huancayo en el Auditorio de la Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente, a los veintiséis días del mes de enero del año dos mil veinticuatro, siendo las 03:00 p.m., reunidos los miembros del jurado examinador integrado por los Ingenieros: Dra. Edith Pilar Orellana Mendoza, Dra. Vilma Ayre Balbin y la M.Sc. Juana María Paucar Carrión; presidido por el Dr. Julio Cesar Álvarez Orellana y actuando como secretario el M.Sc. José Luis Claros Cuadrado, según Resolución No. 033-2024-D-FCFA/UNCP, de fecha ocho de enero de dos mil veinticuatro. A continuación, el presidente del jurado examinador invitó a la asesora Dra. Edith Pilar Orellana Mendoza para presentar la tesis, posteriormente se invitó a la Bachiller en Ciencias Forestales y del Ambiente **DIANA TERESA BAO CÓNDROR**, a sustentar su Tesis titulada “**CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN SUELOS AGRÍCOLAS Y *Lepidium meyenii Walpers* – JUNÍN Y CARIHUAMAYO**”. Luego de la exposición oral, resumida y leída las conclusiones y recomendaciones, el presidente del jurado invitó a los miembros del jurado examinador a formular las preguntas que fueran necesarias, a las que contesto la sustentante; concluido el acto de sustentación, se invitó a la sustentante y público en general a abandonar el auditorio, a fin de que los miembros del jurado examinador, emitan su voto individual, secreto y obligatorio, siendo el resultado **APROBADO POR UNANIMIDAD CON MENCIÓN DE EXCELENCIA**. Finalmente se reinicia el acto de sustentación, siendo las, 4:15 pm se levanta el acto académico y firman los miembros del jurado examinador, presidente y secretario en señal de conformidad.


Dra. Edith Pilar Orellana Mendoza
Jurado


Dra. Vilma Ayre Balbin
Jurado

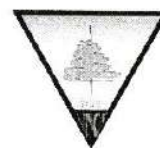

M.Sc. Juana María Paucar Carrión
Jurado


Dr. Julio Cesar Álvarez Orellana
Presidente


M.Sc. José Luis Claros Cuadrado
Secretario



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ
Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente
Av. Mariscal Castilla 3909 – 4089 – Ciudad Universitaria - El Tambo – Huancayo



"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Alimentaria"



INFORME N° 019-2022-EPOM-FCFA/UNCP

A: Dr. Mauro Rodríguez Cerrón
DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DEL AMBIENTE

ASUNTO: INFORME DE ORIGINALIDAD DE BORRADOR DE TESIS

FECHA: Huancayo, 10 de noviembre de 2022

Tengo el agrado de dirigirme a usted para saludarle cordialmente y a la vez informar el resultado del índice de similitud del borrador de tesis, como se detalla a continuación:

TESIS	TESISTA	ÍNDICE DE SIMILITUD
"CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN SUELOS AGRÍCOLAS Y <i>Lepidium meyenii</i> Walpers – JUNÍN Y CARHUAMAYO"	DIANA TERESA BAO CÓNDROR	20%

La referida tesis registra un índice de similitud de 20 %, y se encuentra dentro del rango permitido por la Universidad Nacional del Centro del Perú. Se adjunta informe de originalidad.

Es cuanto informo a usted para su conocimiento y fines.

Atentamente,


Edith Pilar Orellana Mendoza (Dra.)
DOCENTE ASESORA



Dr. Cirilo Huamán Huamán
Director del IEL-FCFA

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	2%
3	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.uwiener.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Tecsup Trabajo del estudiante	1%
8	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	



<1 %

10

repositorioinstitucional.buap.mx

Fuente de Internet

<1 %

11

repositorio.uncp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

12

repositorio.unac.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

13

www.slideshare.net

Fuente de Internet

<1 %

14

www.researchgate.net

Fuente de Internet

<1 %

15

repositorio.ucss.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

16

eprints.uanl.mx

Fuente de Internet

<1 %

17

colposdigital.colpos.mx:8080

Fuente de Internet

<1 %

18

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

19

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

20

repositorio.ups.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %



Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo

ASESORA:

DRA. EDITH PILAR ORELLANA MENDOZA

CIP: 32079

DEDICATORIA

A Dios, por darme paz y salud para
Permitirme cumplir mis metas.

A mis padres
, por darme amor, confianza y
apoyo en cada paso que doy, gracias por enseñarme
cada día a ser una mejor persona y
a ayudarme a cumplir mis metas.

A mi hermana y hermano, que estuvieron
para guiarme y darme consejos.

AGRADECIMIENTO

A la Dra. Edith Orellana, por el asesoramiento en la presente tesis, por el tiempo y la asistencia que me brindo en la ejecución de la investigación.

A los docentes de la Facultad de Ciencia Forestales y del Ambiente, que nos impartieron sus conocimientos y nos guiaron por el sendero del saber.

INDICE

RESUMEN	XIII
ABSTRACT.....	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Formulación del problema	2
1.2.1 Problema general	2
1.2.2 Problemas específicos.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Justificación	3
CAPITULO II. MARCO TEORICO	4
2.1. Antecedentes de investigación.....	4
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	4
2.1.2. Antecedentes nacionales	9
2.2. Bases teóricas.....	10
2.1.1. Movilización de metales pesados en el suelo	10
2.1.2. Mecanismos de movilización de metales pesados en plantas	11
2.3. Bases Conceptuales.....	12
2.1.3. <i>L. meyenii</i> Walpers.....	12

2.1.4. Relación suelo - planta.....	16
2.1.4.1.Contaminación del suelo.....	16
2.1.4.2.Metales pesados en el suelo	17
2.1.5. Metales pesados en las plantas.....	18
2.1.6. Acumulación de metales pesados	19
2.1.7. Toxicología de los metales pesados	20
2.4. Hipótesis de investigación	23
2.4.1. Hipótesis general.....	23
2.4.2. Hipótesis específicas.....	23
2.5. Operacionalización de variables	23
2.6. Marco Normativo.....	24
2.6.1. Legislación ambiental para suelos agrícolas.....	24
2.6.2. Legislación para cultivos agrícolas.....	26
CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODO	28
3.5. Ámbito de estudio	28
3.5.1. Ubicación política	28
3.5.2. Ubicación Geográfica	29
3.5.3. Ubicación de parcelas de cultivo	29
a) Clima.....	30
b) Zonas de Vida	30
c) Topografía.....	30
3.5.4. Lugar de análisis de muestras	30
3.6. Metodología de estudio.....	31
3.6.1. Tipo y nivel de investigación.....	31

3.6.2.	Diseño de investigación	31
3.6.3.	Población y muestra.....	32
3.6.4.	VARIABLES DE INVESTIGACIÓN	32
3.6.5.	Prueba de hipótesis estadística.....	32
3.7.	Materiales y equipos	33
3.7.1.	Materiales de campo	33
3.7.2.	Materiales de Laboratorio.....	33
3.8.	Procedimiento	34
3.8.1.	Fase de pre campo.....	34
3.8.2.	Fase de campo.....	35
3.8.3.	Fase de Laboratorio.....	37
3.9.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	41
3.9.1.	Técnicas de procesamiento de datos	41
3.9.2.	Determinación del Factor de Bioconcentración.....	41
CAPITULO IV. RESULTADOS		42
4.5.	Concentración de metales pesados en suelo agrícola del distrito de Junín y Carhuamayo.....	42
4.5.1.	Concentración de arsénico, cadmio, plomo, zinc y hierro en suelos agrícolas	43
4.6.	Concentración de metales pesados en <i>L. meyenii</i> según variedad en los distritos de Junín y Carhuamayo.....	45
4.6.1.	Concentración de arsénico, cadmio, plomo, hierro y zinc en <i>L. meyenii</i> ..	47
4.7.	Factor de bioconcentración.....	51

4.7.1. Factor de bioconcentración de Arsénico.....	53
4.7.2. Factor de bioconcentración de Cadmio.....	54
4.7.3. Factor de bioconcentración de Plomo.....	54
4.7.4. Factor de bioconcentración Zinc.....	55
4.7.5. Factor de bioconcentración de Hierro.....	55
CAPITULO V. DISCUSIONES.....	56
5.1. Concentración de metales en el suelo	56
5.2. Acumulación de metales en <i>L. meyenii</i>	57
5.3. Bioconcentración de metales en <i>L. meyenii</i>	59
CONCLUSIONES.....	61
RECOMENDACIONES.....	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
ANEXOS	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Abonos de uso más frecuente en la siembra de <i>L. meyenii</i>	15
Tabla 2 Riquezas en nutrientes del guano de islas.....	15
Tabla 3 Características de los metales pesados en las plantas y su riesgo a la salud humana.....	21
Tabla 4 Operacionalización de variables	23
Tabla 5 ECAs_suelo, concentraciones máximas de metales pesados en suelos agrícolas.....	24
Tabla 6 Límite máximo permisible para Arsénico en suelos agrícolas.....	24
Tabla 7 Límite máximo permisible para Cadmio en suelos agrícolas.....	25
Tabla 8 Límite máximo permisible para Plomo en suelos agrícolas.....	25
Tabla 9 Límite máximo permisible para Zinc en suelos agrícolas.....	25
Tabla 10 Límite máximo permisible para arsénico en cultivos agrícolas.....	26
Tabla 11 Límite máximo permisible para Cadmio en raíces y tubérculos.....	26
Tabla 12 Límite máximo permisible para plomo en raíces y tubérculos.....	27
Tabla 13 Límite máximo permisible para zinc en cultivos agrícolas.....	27
Tabla 14 Límite máximo permisible para hierro en cultivo agrícola.....	27
Tabla 15 Ubicación política de los distritos de Junín y Carhuamayo.....	28
Tabla 16 Ubicación geográfica de las zonas de estudio.....	29
Tabla 17 Ubicación de cultivos de <i>L. meyenii</i>	29
Tabla 18 Concentración de metales pesados (mg/kg) en suelos agrícolas con cultivo de <i>L. meyenii</i> en Junín y Carhuamayo.....	42
Tabla 19 ANOVA para metales en suelo agrícola del distrito de Junín y Carhuamayo.....	44
Tabla 20 Concentración media de metales pesados en <i>L. meyenii</i> según lugares y variedades.....	45

Tabla 21 ANOVA de concentración de arsénico en <i>L. meyenii</i> según variedades en Junín y Carhuamayo.	48
Tabla 22 ANOVA de concentración de cadmio en <i>L. meyenii</i> según variedades en Junín y Carhuamayo.	48
Tabla 23 ANOVA de concentración de plomo en <i>L. meyenii</i> según variedades en Junín y Carhuamayo.	49
Tabla 24 ANOVA de concentración de hierro en <i>L. meyenii</i> según variedades en Junín y Carhuamayo.	50
Tabla 25 ANOVA de concentración de zinc en <i>L. meyenii</i> según variedades en Junín y Carhuamayo.	50
Tabla 26 Factor de Bioconcentración en <i>L. meyenii</i> según lugares y variedad.	51
Tabla 27 ANOVA de bioconcentración de arsénico entre factor lugar y variedad de <i>L. meyenii</i>	53
Tabla 28 ANOVA de bioconcentración de cadmio entre factor lugar y variedad de <i>L. meyenii</i>	54
Tabla 29 ANOVA de bioconcentración de plomo entre factor lugar y variedad de <i>L. meyenii</i>	54
Tabla 30 ANOVA de bioconcentración de zinc entre factor lugar y variedad de <i>L. meyenii</i>	55
Tabla 31 ANOVA de bioconcentración de hierro entre factor lugar y variedad de <i>L. meyenii</i>	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Hojas compuestas de <i>L. meyenii</i> Walp.	13
Figura 2: Recolección de suelo agrícola en Shalipayco - Carhuamayo.	36
Figura 3: Recolección de <i>L. meyenii</i> en Chacpas - Huayre.	37
Figura 4: Muestras molidas de maca amarilla y morada.	38
Figura 5: Proceso de digestión de las muestras de <i>L.meyenii</i>	38
Figura 6: Filtración de las muestras después del proceso de digestión acida.	39
Figura 7: Lectura de muestras en el Espectrofotómetro de absorción atómica Varian AA240.	40
Figura 8: Concentración de metales pesados en suelo de cultivo de <i>L. meyenii</i> en los distritos de Junín y Carhuamayo frente a los ECAs.	43
Figura 9: Concentración de metales pesados en <i>L.meyenii</i> en el distrito de Junín.	46
Figura 10: Concentración de metales pesados en <i>L.meyenii</i> en el distrito de Carhuamayo.	47
Figura 11: Grado de acumulación de metales pesados en maca amarilla y morada proveniente del distrito de Junín.	52
Figura 12: Grado de acumulación de metales pesados en maca amarilla y morada proveniente del distrito de Carhuamayo.	53
Figura 13: Cultivo de maca en el distrito de Junín.	73
Figura 14: Cultivo de maca en el distrito de Carhuamayo - Shalipayco.	73
Figura 15: Maca variedad amarilla y morada.	74
Figura 16: Mezcla de suelo, y extracción de muestra mediante método de cuarteo. – distrito de Carhuamayo.	74
Figura 17: Muestra de suelo en bolsa ziploc – hermética.	75

Figura 18: Recolección de muestra mediante método de cuarteo. – Distrito de Junín (Uco).	75
Figura 19: Muestra de Maca variedad morada	76
Figura 20: Muestra de maca variedad amarilla	76
Figura 21: Muestras de las dos variedades de maca con sus respectivas etiquetas.	77
Figura 22: Muestras de suelo con sus respectivas etiquetas.....	77
Figura 23: Secado de muestras de suelo.....	78
Figura 24: Proceso de cernir la muestra de suelo.....	78
Figura 25: Muestras colocadas en la campana de secado.....	78
Figura 26: Espectrofotómetro de Absorción Atómica Varian AA240.....	79
Figura 27: Molino PulverizadorPulverisette2.....	80
Figura 28: Muestras molidas de maca Junín y Carhuamayo.....	80
Figura 29: Pesado de muestra de maca y suelo en la balanza de precisión.....	81
Figura 30: Ataque químico de las muestras de maca variedad amarilla y morada de los dos distritos.....	81
Figura 31: Filtrado de las muestras después del proceso de digestión química y dilución.....	82
Figura 32: Proceso de filtración de muestras.....	82
Figura 33: Muestras de macas y suelo ya filtradas y listas para la lectura en el Espectrofotómetro.....	82
Figura 34: Lectura de muestras en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica Varían AA240.....	83

RESUMEN

La maca (*Lepidium meyenii* Walpers), es cultivada sobre los 4000 metros de altitud; una especie conocida por su gran valor nutricional y económico. El objetivo del estudio fue evaluar la concentración de metales pesados en suelos agrícolas y en *L. meyenii* en las localidades de Junín y Carhuamayo.

Las muestras de *L. meyenii* y suelo se recolectaron en 5 cultivos de cada distrito y se analizaron con un espectrofotómetro de absorción atómica Varian AA240. La concentración se midió por el método de espectrofotometría de absorción atómica. La concentración de metales pesados en suelo con cultivo tuvo el siguiente orden Fe>Zn>Pb>As>Cd, todos los valores se encuentran por debajo de los estándares. Para el caso de la maca, el As, Fe y Zn no superan los límites recomendados por estándares internacionales; por el contrario, para Cd y Pb superan ligeramente los estándares. El factor de bioconcentración (BCF) para las dos variedades de maca en orden fue la siguiente Zn>Cd>Pb>As>Fe, ambas por debajo de 1; por lo tanto, no actúa como una especie hiperacumuladora. El factor de bioconcentración para arsénico y cadmio tienen un grado de acumulación media encontrándose entre los valores de 1-0.1mg/kg en ambas variedades y para plomo, zinc y hierro (FBC<0.1) es carente.

Palabras clave: concentración de metales pesados, suelo agrícola, *L. meyenii* Walpers, límite máximo permisible, factor de bioconcentración.

ABSTRACT

Maca (*Lepidium meyenii* Walpers), is cultivated over 4000 meters of altitude; a species known for its great nutritional and economic value. The objective of the study was to evaluate the concentration of heavy metals in agricultural soils and in *L. meyenii* in the towns of Junín and Carhuamayo.

Samples of *L. meyenii* and soil were collected in 5 crops from each district and analyzed with a Varian AA240 atomic absorption spectrophotometer. The concentration was measured by the atomic absorption spectrophotometry method. The concentration of heavy metals in cultivated soil had the following order Fe > Zn > Pb > As > Cd, all values are below the standards. In the case of maca, As, Fe and Zn do not exceed the limits recommended by international standards; on the contrary, for Cd and Pb they slightly exceed the standards. The bioconcentration factor (BCF) for the two varieties of maca in order was the following Zn > Cd > Pb > As > Fe, both below 1; therefore, it does not act as a hyper-accumulating species. The bioconcentration factor for arsenic and cadmium has a medium accumulation degree, being between the values of 1-0.1mg / kg in both varieties and for lead, zinc and iron (BCF < 0.1) it is lacking.

Keywords: heavy metal concentration, agricultural soil, *L. meyenii* Walpers, maximum permissible limit, bioconcentration factor.

INTRODUCCIÓN

La maca es una planta milenaria, cosechada hace muchos años, es reconocida por su valor nutricional, pero aun poco investigada. Crece entre los 4000 a 4500 metros sobre el nivel del mar, oriunda de los andes peruanos, presenta muchas variedades, estas pueden ser reconocidas por el color del hipocótilo. La maca posee grandes propiedades que tienen efectos positivos en la salud del consumidor. La demanda de la maca está en incremento, pero es importante tener estudios sobre las propiedades biológicas y evaluar si esto conlleva a un efecto negativo. (Gonzales *et al.*, 2009)

La contaminación de alimentos por metales pesados es causada por fuentes naturales, es decir la composición del suelo, también del uso de fertilizantes biológicos y químicos, la minería y otras fuentes antropogénicas. Para la investigación se buscó determinar la concentración de metales presentes en suelos agrícolas y en maca (*L. meyenii.*), y así crear un precedente. Los metales que se analizaron en el suelo y la raíz (hipocótilo) de *L. meyenii*, fueron el arsénico, cadmio, plomo, zinc y hierro, por el método de espectrofotometría de absorción atómica de llama.

La contaminación es un problema que genera perjuicio a los seres vivos que lo habitan; esta se dispersa en los recursos, alterando sus características de origen. Pero el hombre ha acelerado estos cambios. Por ello el objetivo de la investigación es determinar la concentración de metales pesados en suelos agrícolas y *L. meyenii*; para crear un precedente, y ver el problema desde un nuevo enfoque y combatirla

CAPITULO I.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

El Perú es un país con gran potencial agrícola, con múltiples productos de venta nacional e internacional, pero, también es un país minero, con extracciones destinadas a la exportación que va en ascenso y ello conlleva a una mayor contaminación a áreas que son destinadas para cultivos. Todas las actividades realizadas por el ser humano generan alteraciones al medio ambiente, ya que para realizar las actividades presentan algún tipo de extracción o remoción que dejan residuos.

Los metales pesados se transfieren del ambiente abiótico a los organismos vivos, se acumulan en la biota en los diferentes niveles tróficos y, por lo tanto, contaminan las cadenas o redes alimentarias. La transferencia trófica, la bioacumulación y la biomagnificación de metales pesados peligrosos en las cadenas alimentarias tienen importantes implicaciones para la salud humana y la vida silvestre (Ali & Khan, 2019)

La existencia de altos niveles de metales tóxicos en el suelo y el cultivo agrícola están asociados al uso de fertilizantes, riego con aguas residuales y la presencia de iones que pueden unirse a estos metales. Los fertilizantes fosfatados por su naturaleza geológica y mineralógica contienen diferentes elementos peligrosos para el medio ambiente que incluyen al Cr, Cd, Pb, Hg, As y U. Por otro lado, los plaguicidas basados en glifosato también contienen metales pesados como el As, Cr, Co, Pb, Ni y estas sustancias químicas son utilizados en el cultivo de vegetales y tuberosas.

La maca contiene minerales como hierro, calcio, cobre, zinc y potasio, entre otros. Se concluye que este tubérculo puede ser una fuente de alimento en los países donde las condiciones económicas y tecnológicas son inadecuadas para combatir la desnutrición.

La contaminación por metales pesados tiene de origen una fuente natural o fuente antropogénica, por ello el ministerio de salud realiza la vigilancia epidemiológica en salud pública ya que existen factores de riesgo por exposición e intoxicación por metales pesados y metaloides, la identificación, recolección, procesamiento, investigación, su análisis, e interpretación ayuda a orientar la toma de decisiones para prevenir y poder controlar las fuentes de emisión.

A nivel local y nivel mundial existe la problemática de la contaminación por metales pesados, que comprometen la salud y medio ambiente.

La investigación de metales pesados en alimentos es de mucha importancia para poder prevenir futuras enfermedades o complicaciones que estas acarrearán.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

- ¿Cuál es el nivel de concentración de metales pesados en suelos agrícolas y en *Lepidium meyenii* Walpers en los distritos de Junín y Carhuamayo?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es la concentración de metales pesados (As, Cd, Pb, Zn y Fe) en suelos agrícolas en los distritos de Junín y Carhuamayo?
- ¿Cuál es la concentración de metales pesados (As, Cd, Pb, Zn y Fe) en *Lepidium meyenii* Walpers en los distritos de Junín y Carhuamayo?
- ¿Cuál es el factor de bioconcentración para los metales pesados (As, Cd, Pb, Zn y Fe) entre el suelo agrícola y *Lepidium meyenii* Walpers?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Determinar el nivel de concentración de metales pesados (As, Cd, Pb, Zn y Fe) en suelos agrícolas y en *Lepidium meyenii* Walpers en los distritos de Junín y Carhuamayo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la concentración de metales pesados (As, Cd, Pb, Zn y Fe) en suelos agrícolas en los distritos de Junín y Carhuamayo.
- Determinar la concentración de metales pesados (As, Cd, Pb, Zn y Fe) en *Lepidium meyenii* Walpers en los distritos de Junín y Carhuamayo.
- Determinar el factor de bioconcentración de metales pesados (As, Cd, Pb, Zn y Fe) entre suelo agrícola y *Lepidium meyenii* Walpers.

1.4 Justificación

Cuantificar la concentración de metales pesados en dos variedades de maca nos permitirá recomendar a los agricultores el uso sostenible de los agroquímicos en el cultivo de sus productos agrícolas a fin de disminuir el riesgo en la salud de los pobladores alto andinos por ingesta de maca con metales pesados, que en el largo plazo traerá consecuencias negativas sobre todo en la salud de los niños y adultos mayores. A partir de los resultados que se obtendrán, los pobladores alto andinos a través de sus organizaciones comunales conjuntamente con las instituciones científicas realizarán el monitoreo constante del suelo, a fin de implementar programas de producción de maca más saludable, y prevenir el riesgo de enfermedades.

Se espera estimar la concentración de metales pesados y comparar con los valores permisibles. Se evaluará el factor de bioconcentración, para buscar la relación entre la cantidad de metales pesados hallados en la maca y el suelo del cultivo.

CAPITULO II. MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Sarabia *et al.*,(2011) evaluo el riego en suelos agricolas y cultivos en el valle de San Luis Potosí , las muestras se prepararon mediante el metodo de digestion acida y la cuantificacion de los metales fue determinada por absorcion atomica, con lamparas de catodo hueco multielemento y flama; encontraron que As y Pb estaban dentro de los rangos aceptables As entre 15 y 50 mg/kg y Pb entre 50 y 100 mg/kg. Para el Fe, como es uno de los elementos mas abundantes en promedio de 4% a 7% (70 000 mg/kg) o mas, dependiendo del origen del suelo, los valores obtenidos en su estudio no superaron este valor.

Boamponsem *et al.*,(2012), en su estudio sobre la acumulacion de metales pesados en repollo, lechuga y zanahoria regadas con aguas residuales, en un sitio minero en Ghana, cuantifico los niveles de metales pesados y comparo su acumulacion en tallos, hojas y raices; mediante el metodo de espectrofotometria de absorcion atomica (modelo AA6300) . En los resultados que obtuvo para *Daucus carrota* para el cadmio los valores obtenidos estaban en el rango de 0.0070 – 0.090 mg/kg; estando por debajo de los recomendados por la OMS/FAO.

Valdivia & Almanza, (2013) en su investigacion “Evaluación del contenido de minerales de *L. meyenii* , maca natural Boliviana” que consistia en la cuantificación de minerales en dos

ecotipos de maca (amarillenta y marron); la lectura fue realizada con un espectrofotometro de absorcion atomica Analist-200, para cada elemento se utilizo una lampara de catodo hueco y una longitud de onda especifica. Analizaron 100 gr de muestra para cada ecotipo.. Los resultados que obtuvieron fue de 19.1 mg de Hierro y 0.5 mg de zinc para maca amarillenta y para la maca de color marron- café obtuvieron 1.6 mg de hierro y 0.4 mg de zinc por cada 100 gr.

Vincevica-Gaile *et al.*,(2013) en una revision de investigaciones de analisis de alimentos en Letonia , hicieron un analisis cuantitativo de elementos principales y oligoelementos de alimentos de origen vegetal y animal; dentro del análisis de hortalizas incluyeron a la zanahoria y papa. El analisis de los elementos se realizo mediante espectrometria de absorcion atomica (AAS) y espectrometria de masas de plasma acoplado Inductivamente (ICP-MS) o espectrometria de fluorescencia de rayos x. Evaluaron 15 metales pesados entre ellas el arsenico, cadmio , plomo y zinc. Los valores obtenidos para plomo fue de 0.05 mg/kg y para cadmio 0.12 mg/kg (estos son valores medios). Para algunos oligoelemntos como el Zn los valores fueron altos.

Van Lune y Zwart en 1997 citado en Stasinis *et al.*,(2014) evaluaron la acumulacion de cadmio en zanahorias y otras plantas , cultivadas en suelo arenosos y franco arenoso fue examinada mediante el metodo de Espectrofotometria de absorcion atomica. La absorcion de cadmio en los cultivos de zanahoria mostro un aumento según aumentaba la profundidad de la adiccion de cadmio al suelo (valores entre 0.87 y 7.0 mg/kg en suelo arenoso y 0.21 y 2.8 mg/kg en suelo franco arenoso). La absorcion de cadmio por el cultivo fue mayor en suelos franco arenoso. Dado que al arar la capa superior del subsuelo, podia poner en peligro los cultivos; por la presencia de cadmio.

Van Driel et al 1995 citado en Stasinis *et al.*,(2014) ; mostro que la absorcion de los metales por las plantas suelen disminuir cuando se le cubre con una capa de suelo arcillosos no contaminado. Los analisis se realizaron por espectrofotometria de absorcion atomica de llama. La primera cosecha de papa cultivada en areas contaminadas dieron 0.47 mg/kg para cadmio y 24.4mg/kg para zinc; comparandolo con los resultados en suelos arcillos no contaminados con

valores de 0.07mg/kg de cadmio y de 13.7 mg/kg de zinc. Además las papas cosechadas del suelo contaminado para su segunda cosecha fueron más altas comparada con las de suelo limpio.

Son *et al.*, (2015), en su investigación en Tailandia sobre la acumulación de metales pesados de Cu, Pb, Cd y Zn en la zanahoria, realizó la comparación en raíces y hojas, el análisis fue mediante espectrofotometría de absorción atómica. La mayor acumulación de Pb fue en la raíz con un valor de 0.274 mg/kg, 14.35 mg/kg de Zn y para cadmio 0.0293 mg/kg.

Musilova *et al.*,(2016) en su investigación sobre papa, un cultivo resistente a los metales pesados en suelo contaminado con metales, que tuvo como objetivo evaluar el grado de acumulación de cadmio, plomo y zinc, con relación a la concentración de metales pesados en el suelo de 11 cultivos de papa, en cinco localidades de Eslovaquia. El contenido de cadmio en el suelo fue en un rango de 0.94 a 2.54 mg/kg; para plomo 18.03 a 24.90 mg/kg y para zinc de 35.71 a 72.40 mg/kg. Con respecto al contenido de Cd, Pb y Zn en papa se expresaron en mg/kg de materia fresca; con resultados de ND-0.058 mg/kg en cadmio, 0.020 – 0.630 mg/kg en plomo y 1.836 – 3.457 mg/kg de zinc.

Antoine *et al.*, (2017) en su investigación evaluaron el riesgo potencial para la salud asociados con el contenido de aluminio, arsénico, cadmio y plomo en frutas y verduras cultivadas en Jamaica. El estudio se realizó en trece cultivos entre ellos la zanahoria, papa y nabo, mediante espectrofotometría de absorción atómica y análisis instrumental de activación de neutrones. Los resultados obtenidos de las concentraciones medias fueron de 0.001 - 0.104 mg/kg para arsénico, 0.015 – 0.420 mg/kg para cadmio y 0.003 – 0.100 mg/kg para el plomo.

Dziubanek *et al.*,(2017) realizó un estudio en Silesia, Polonia; sobre la concentración de cadmio en suelos cultivables y 118 muestras vegetales: zanahoria, remolacha, papa, apio criollo(tuberculo) y perejil(raiz). Asimismo analizaron el factor de bioconcentración y como la acidez de los suelos tiene impacto. El contenido de cadmio en el suelo estuvo en rango de >0.5 –

68.5 mg/kg. Para el factor de bioconcentracion las raices de de zanahoria y perejil obtuvieron el valor mas alto (0.828 y 0.941 respectivamente).

Zeeshan & Shehzadi (2019) realizo un estudio sobre el impacto de aguas residuales en el suelo y el rabanito (*Raphanus sativus L.*), relacionado a la presencia de metales (Pb, Cd, As) ; la investigacion se realizo en granjas de Tarlai, Islamabad, Pakistan. Las muestras de aguas residuales, suelos y rabanitos se recolectaron en 7, 14, 20, 40 y 60 dias despues de la siembra, para despues analizarlas mediante espectrometria de absorción atómica. Los resultados para suelo se encontraron en limites seguros; por el contrario en el rabanito las concentraciones de plomo(1.0mg/kg) y cadmio(0.65 mg/kg) esuvieron por encima de los limites permitidos por la Organización Mundial de la Salud(OMS), resultados encontrados en rabanitos cosechados a los 7 dias; para el caso de arsenico el valor maximo fue de 0.42 mg/kg en raabanitos cosechados a 40 dias.

Ćwieląg-Drabek *et al.*(2020) evaluo los riesgos de exposicion al cadmio, plomo y zinc por el consumo de hortalizas producidas en zonas con mineria y fundiciones, ubicadas en la provincia de Silesia, en el sur de Polonia. Se analizo la contaminacion vegetal y el suelo en huertos familiares. El material de analisis consistio en 219 muestras de suelo y 64 de plantas comestibles; para el contenido de metales pesados en las muestras tanto de suelo y vegetal se uso el metodo de espectroscopia de emision atomica con plasma acoplado inductivamente (ICPOES), para las de bajo contenido de metal se uso Espectrofotómetro de absorcion atomica (AAS). Obtuvieron el contenido medio de cadmio de 0.52 mg/kg y en plomo de 0.57 mg/kg, los cuales superaron las Normas Europeas.

Gebeyehu & Bayissa (2020) evaluaron el nivel de presencia de metales pesados en el suelo y verduras(tomate y repollo) en la zona de Mojo, Etiopia asociandolo al riesgo para la salud. La zona de estudio, tiene presencia de muchas industrias, fabricas de cuero y textiles, fabrica de plastico y muchas mas; es un lugar altamente vulnerable a la contaminacion. Determinaron la

presencia de metales utilizando el espectrofotometro de emision optica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). Los niveles de As, Pb, Cd, Zn, Cu, Hg y Co superaron el nivel de referencia en suelo agricola , asimismo los niveles de As, Pb, Cd, Cr y Hg superaron los valores en los vegetales con concentraciones de 1.93 – 5.73, 3.63 -7.56, 0.56 – 1.56, 1.49 – 4.63 y 3.43 – 4.23 mg/kg respectivamente. Respecto al factor de bioconcentracion, para el tomate estuvieron en el siguiente orden Fe<Mn<Cr<Co<Ni<As<Pb<Cd<Zn<Hg<Cu y para el repollo fue Fe<Co<Cr<Ni<Mn<Pb<As<Zn<Cd<Cu<Hg.

Guo *et al.*(2019) evaluo la probabilidad de riesgo para la salud por la ingesta de metales pesados a traves del consumo de vegetales, el estudio se llevo a cabo alrededor de fundiciones de plomo y zinc en el suroeste de China; eligieron siete pueblos como el area de estudio. Los vegetales evaluados fueron el camote(*Ipomoea batatas* L.),la zanahoria (*Daucus carota* L.), papa (*Solanum tuberosum* L.)y rabano (*Raphanus sativus* L.). Las concentraciones de Cd, Cu, Pb y Zn en muestras de suelo y vegetal se determino por espectrometria de masas de plasma acoplado inductivamente y las de As la analizaron con un espectrómetro de fluorescencia atómica. La concentracion media de As, Cd, Cu, Pb y Zn en las muestras de suelo fueron 116.76, 3.59, 158.56, 196.96 y 236.74 mg/kg respectivamente; en la muestra vegetal la concentracion media fue de 0.45 para As, 0.33 para Cd, 1.12 para Cu, 0.61 para Pb y 4.27 para Zn. Los factores de bioconcentracion promedio de los metales pesados disminuyeron en el orden de Cd(0.055), Zn(0.024), Cu(0.018), As(0.007) y Pb(0.002).

Lizarazo *et al.*(2020) en su estudio realizado en Sibaté, Colombia evaluo la contaminacion de cultivos por metales pesados, midiendo la concentracion de Cu,As,Pb, Cr, Zn, Co, Cd y Ni, este proceso se llevo a cabo empleando instrumentos de absorcion atomica (Varian AA – 140 y Shimadzu AA – 7000). La recoleccion de muestras de zanahoria, perejil y alcachofa fue realizada cerca a una represa, donde se trata el agua del rio Bogota. La concentracion promedio hallada en la raiz de zanahoria fueron de 0.11 mg/kg para cadmio, 0.36 mg/kg de As, 1.22 mg/kg de Zn y 7.52 mg/kg de Pb.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Machado(2001) en su estudio de caracterizacion de cuatro ecotipos de maca, realizo el analisis de microminerales presentes en mg/100mg de muestra seca; obteniendo valores para zinc en la variedad morada 2.88 ± 0.13 mg y 2.78 ± 0.11 mg en la variedad morada; para hierro encontró 8.26 ± 0.85 mg para la morada y 10.31 ± 1.96 mg para amarilla.

Perú Biodiverso (2011) realizó el análisis físico, químico y de minerales de la maca seca provenientes de la meseta del Bombón, Huancayo y Huancavelica, para poder realizar un análisis comparativo de los ecotipos de maca. Para la determinación del contenido de metales pesados se tomaron seis muestras y se llevaron a laboratorio, cuyos resultados en valores promedio del contenido de metales pesados fueron: maca proveniente de Huancayo y secada en la misma presenta 0.00ppm de Pb, 1.98ppm de Cd y 0.90 ppm de Cr; la maca proveniente de Huancayo y secada en Junin tiene 0.12ppm de Pb, 1.10 ppm de Cd y 0.42 ppm de Cr; maca proveniente de Junín y secada en Huancayo se obtuvo 0.10 ppm de Pb, 2.27 de Cd y 0.60 ppm de Cr y maca proveniente de Junin y secada en la el mismo lugar presento 4.68 ppm de Pb, 0.00 ppm de Cd y 0.04 ppm de Cr respectivamente.

Espinoza & Quispe (2016) determinó la concentración de metales pesados (As,Cd y Pb) en maca , el Arsénico mediante el método Espectrometría de absorción atómica por generación de hidrocarburos; el Cadmio y Plomo por horno de grafito. Obtuvo como resultado del procedimiento y del análisis de 28 muestras, una concentración promedio de Pb en maca de 0.34 mg/kg, de Cadmio de 0.32mg/kg y un arsenico de 0.38 mg/kg.

Oliva *et al.*,(2019) en su estudio “Determinación cuantitativa de cadmio(Cd) en sistema suelo –planta en cultivo de papa (*Solanum tuberosum* var. Huayro” en Amazonas ; mediante el método espectrofotometría de absorción atómica – (MP –AES) ; con 0.20 g de cada muestra , utilizando la combinación de reactivos de digestión ácida con ácido nítrico y peróxido de hidrógeno. Recolectaron 18 muestras de suelo y 18 tubérculos; obtuvieron para el suelo

concentraciones de cadmio de 3.99 mg/kg y para las muestras de tuberculos presentaron un riesgo para la salud ya que superaron los limites maximos permisibles (0.1 mg/kg) establecido por Codex Alimentarius. Con respecto al factor de bioconcentracion para la papa , ninguno supero el valor de 1.

2.2.Bases teóricas

2.1.1. Movilización de metales pesados en el suelo

El traslado de los metales pesados en el suelo están influenciadas por: el pH, la composición iónica de la solución del suelo, capacidad de cambio, presencia de carbonatos, materia orgánica, textura, naturaleza de la contaminación, el cambio de temperatura y humedad (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). Los metales pesados en el suelo no actúan como elementos estáticos, por el contrario, estos siguen pautas de movilización.

En general, los metales pesados en el suelo siguen vías de transporte; estas pueden quedar retenidos en el suelo, ya sean disueltos en fase acuosa o en sitios de intercambio; la segunda vía es siendo absorbidos en constituyentes inorgánicos del suelo, otra sería asociándose a la materia orgánica del suelo y por último podría ser precipitados en sólidos puros o mixtos. La dinámica de estos metales dependerá de las condiciones fisicoquímicas del suelo, como el pH y potencial redox, mientras que otros mecanismos para tenerlos es por absorción, complejacion y precipitación. Además, las plantas y microorganismos pueden relacionarse con los metales mediante la extracción, estabilización, biosorción, bioacumulación, biomineralización y biotransformación. Para ver el grado de contaminación no solo es basarse en los valores totales, sino considerando la biodisponibilidad del contaminante (Torres Saavedra, 2018).

Los metales pesados debido a su toxicidad, persistencia y naturaleza bioacumulativa son considerados contaminantes ambientales. Sus fuentes son de origen natural y también antropogénica, por las diversas actividades económicas. En los procesos de extracción de minerales, aplicación en el desarrollo industrial o agrícola, han provocado la movilización de estos

metales al medio ambiente y la perturbación de sus ciclos. Al ser contaminantes persistentes se acumulan en el medio ambiente y traen como consecuencia la contaminación de la cadena alimentaria. La bioacumulación de estos elementos, trae implicaciones para la salud humana; por la presencia de estos en alimentos y su posterior transferencia. (Ali *et al.*, 2019)

2.1.2. Mecanismos de movilización de metales pesados en plantas

a) Absorción de metales en la rizosfera

Aunque algunos nutrientes como SO₂, NH₃ y NO₂ pueden ser absorbidos en forma de gases a través de las estomas y metabolizados directamente por las hojas, la mayoría de los minerales se absorben a través de las raíces. Las plantas han desarrollado una serie de estrategias para aumentar la absorción, incluida la acidificación, la secreción de quelantes orgánicos y la expresión de transportadores de metales de alta afinidad. El primero de estos mecanismos implica la liberación de protones a la rizosfera, para aumentar la solubilización de cationes como Fe, Cu y Zn. Esto está mediado por bombas de protones dependientes de ATP, en la membrana plasmática de las células radiculares. (Dalcorso *et al.*, 2014)

Una vez absorbidos en el apoplasto de la raíz, los cationes pueden ser secuestrados por las células de la raíz o translocados radialmente en la estela de la raíz y posteriormente cargados en la xilema. Por lo tanto, la corriente de transpiración conduce la savia de la xilema al brote, donde los metales pueden ser asignados a los tejidos aéreos. Debido a que los metales de transición son altamente reactivos, la quelación parece ser necesaria para evitar el estrés oxidativo y facilitar la translocación de iones a través de la vascula, logrado por asociación con aminoácidos y ácidos orgánicos.

Las raíces de las plantas sésiles son el órgano que se encuentra metales pesados, por lo tanto, las raíces se estudian frecuentemente para evaluar el impacto de este como factor de estrés. Las plantas que crecen en suelos con presencia de metales pesados sufren en su crecimiento y disminuye su rendimiento; en general el crecimiento de las plantas.

b) Acumulación de metales en la rizosfera

La acumulación de metales pesados se da por tres mecanismos que ayudan a la movilización de los iones. La intercepción radicular, depende del sistema radicular, se incrementa el volumen radicular y en consecuencia intercepta mayor solución del suelo. El flujo de masa; consiste en el movimiento de agua que pierde en la transpiración y por el cual crea una fuerza de succión con la presión del agua de la parte interna con la externa. Por último la difusión; un proceso espontaneo por la gradiente de potencial químico de una solución de mayor concentración a una de menor concentración.(Torres Saavedra, 2018)

c) Factor de Bioconcentración

Es la relación que existe entre la concentración de elementos en la raíz respecto al suelo, esta nos revela la capacidad que tiene la raíz de absorber o asimilar el metal del suelo. Los valores altos de FBC implican que es una especie con capacidad de bioacumulación.

2.3. Bases Conceptuales

2.1.3. *L. meyenii* Walpers.

2.1.3.1. Taxonomía de L. meyenii

División: Phanerogama

Clase: Dicotyledonea

Subclase: Archichlamydea

Orden: Rhoedales

Familia: Brassicaceae o Crucifera

Género: *Lepidium*

Especie: *L. meyenii* Walp. o *Lepidium peruvianum* Chacon

Fuente: Chacón (2001) citado en Enciso(2017)

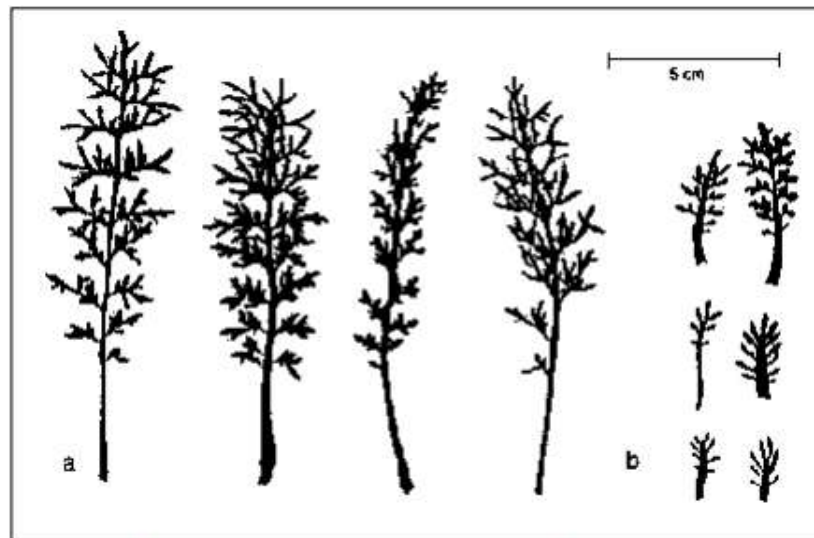
2.1.3.2. *Morfología de la maca*

La maca es una planta con una raíz pivotante; el hipocótilo, un órgano subterráneo y comestible. Sus hojas son compuestas (Figura 1).

Presenta una raíz (hipocótilo) redonda, de varios colores que van de un amarillo a el color negro. Es la parte comestible. Presenta un tallo pequeño, poco visible. Sus hojas son arrosetadas y compuestas, con inflorescencias pequeñas en racimo compuesto y raramente simple. Su fruto es una silicua, ligeramente amagrinado.(Obregón, 1999)

Figura 1

Hojas compuestas de L. meyenii Walp.



Fuente: Aliaga(2014)

- a) **Fase vegetativa:** Tiene una duración de 8 meses aproximadamente.
- b) **Fase reproductiva:** Tiene una duración de 5 meses.

La siembra de maca es realizada entre los meses de setiembre a diciembre. Las semillas son esparcidas en las chacras de manera aleatoria, la cosecha de maca se da entre los meses de julio a setiembre. (Aliaga, 2014)

2.1.3.3. Composición de la maca

La parte comestible de *L. meyenii* (maca) ha sido usado como alimento nutritivo esencial en muchos pueblos, los últimos años con las investigaciones se ha demostrado su alto valor nutricional. La maca tiene carbohidratos, que están compuestos de sacarosa, glucosa, oligosacáridos y polisacáridos.

Además, la maca posee aminoácidos 7 de ellos esenciales al igual que en la papa y zanahoria. También posee minerales tales como calcio 247 mg, fosforo 183mg y hierro 14.7 mg.(MINSa, 2009)

2.1.3.4. Hábitat

La maca requiere suelos fértiles, con un pH ligeramente ácido, presentando mejores productos entre los 4000 – 4250 msnm. (MINAGRI)

Es una planta nativa de los Andes Peruanos, un cultivo que perdura hasta ahora. Crece en la región Puna y Suni de los departamentos de Junín y Pasco respectivamente, estas ubicadas alrededor de los 4 000 msnm, es un recurso de gran valor por su adaptabilidad y su valor nutricional.(Obregón, 1999)

Su cultivo está restringido a los departamentos de: Junín; en las localidades de Huayre, Carhuamayo, Uco, Ondores y Junín y Pasco; en Ninacaca y Vico. También es cultivado en las partes altas del valle del Mantaro. Estas zonas están ubicadas a 4 000 y 4 450 msnm que corresponden al piso ecológico de la puna, la cual se caracteriza por tener temperaturas promedias entre 4 y 7 °C, alta irradiación solar, frecuentes heladas, vientos fuertes y suelos ácidos (pH < 5). Tello, (1992)

2.1.3.5.Siembra

La siembra de maca se da entre los meses de octubre a noviembre, la siembra se realiza al voleo, para una mejor producción se recomienda el uso de guano de isla, con uso racional y eficiente, ya que las recomendaciones dependerán de un análisis químico de suelo. Su siembra es recomendada en terreno descansado. El guano de isla contiene nutrientes como N, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO y S (MINAGRI)

Tabla 1

Abonos de uso más frecuente en la siembra de L. meyenii.

Abonos	Nutrientes(%)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Gallinaza	2-4	3	3.2
Oveja	1.60	2.50	1.80
Guano - isla	13	12	2.5

Fuente:MINAGRI

Tabla 2

Riquezas en nutrientes del guano de islas.

Elemento	Fórmula	Concentración
Nitrógeno	N	10 - 14%
Fósforo	P ₂ O ₅	10 - 12%
Potasio	K ₂ O	2 - 3%
Calcio	CaO	8%
Magnesio	M	0,50%
Azufre	S	1,50%
Hierro	Fe	0,032%
Zinc	Zn	0,0002%
Cobre	Cu	0,024%
Manganeso	Mn	0,020%
Boro	B	0,016%

Fuente:MINAGRI

2.1.4. Relación suelo - planta

El suelo es el medio natural para el crecimiento de plantas, presenta capas llamadas horizontes, que se componen de minerales, materia orgánica, agua, aire. El suelo es una combinación del tiempo con el clima, topografía, flora y fauna. Es el suelo la que mantiene a la mayoría de los organismos vivos como fuente de nutrientes minerales. El buen manejo es esencial ya que de ello depende que algunos de estos minerales se vuelvan deficientes o tóxicos para las plantas. (FAO)

Las condiciones climáticas de un sitio son propiedades que influyen en la formación del suelo. El uso de la tierra tiene gran influencia en la dirección de la formación del suelo y su degradación. Su formación original son las rocas en la superficie, por procesos como la meteorización con alteradas por el clima, topografía y factores bióticos.

Se creía que el suelo tenía capacidad almacenadora de todos los residuos, sin sufrir alteraciones, pero hoy es considerado un recurso no renovable.

2.1.4.1. Contaminación del suelo

Las actividades antropogénicas son las principales causas de contaminación en el suelo, la agricultura es un sector que altera la composición natural del suelo, como resultado de prácticas de manejo. La actividad humana afecta el paisaje, las propiedades físicas y químicas del suelo. (Vargas, 2009)

Al tratar de incrementar el rendimiento de los cultivos, se incorporaron insumos externos, fertilizantes y agroquímicos al suelo; que tienen buenos resultados en la producción, pero contribuye a la degradación irreversible de los suelos. El suelo es objeto de crecientes presiones de uso, debido a la gran demanda de alimentos por el incremento de la población. La

implementación de normas o leyes es primordial, para poder contrarrestar la contaminación y degradación. (RIA, 2015)

Los múltiples factores ambientales y socio económicos, son causantes de la degradación del suelo, no actúa un solo factor. Si bien el cambio del paisaje se puede deber a que los suelos son erosionables o la presencia de precipitaciones, es la actividad humana la preponderante. Según al uso que se le da, se va a modificar las poblaciones vegetales y deja de manera descubierta la superficie.(Cotler *et al.*, 2007). Un suelo es considerado contaminado cuando sus características biológicas, físicas o químicas, han variado, la alteración se refiere en un sentido negativo, ya que contienen componentes peligrosos. La contaminación del suelo generada por actividades económicas puede ser presentada en dos grupos una contaminación local , generalmente proveniente de la minería, industrias; con residuos como lixiviados. El otro grupo es la contaminación difusa, residuos provenientes de la agricultura (plaguicidas, fertilizantes,etc), incluyendo algunas prácticas agrícolas y reciclaje inadecuado. (Silva Arroyave & Correa Restrepo, 2009)

La presencia de contaminantes en el suelo altera el ciclo biogeoquímico, la función de biofiltro, a las poblaciones de microorganismos, la fauna, flora, volviendo frágil a todo el sistema. Para suelos agrícolas disminuye su rendimiento y existe un cambio en la composición de los productos, generando un riesgo para el consumidor. Los metales pesados en el suelo afectan de manera indirecta a las aguas superficiales y freáticas, variación en la disponibilidad de los elementos en el suelo.

2.1.4.2. Metales pesados en el suelo

Uso de fertilizantes, productos fitosanitarios, la aplicación de estiércol, purines, lodos de aguas residuales y el uso de agua inadecuada para el riego; son causas que contribuyen a la contaminación de suelos por metales pesados

Entre los contaminantes que presenta el suelo, están considerados los metales pesados. Están en el ambiente de manera natural o por la actividad antropogénica. La concentración de los metales depende de cómo estos elementos se mueven, mediante procesos de dilución, absorción, precipitación, oclusión, migración, acomplejamiento, difusión de los minerales, unión y volatilización; uno de los factores de mayor influencia significativa es el pH y en menor grado la materia orgánica.(De la Peña, 2014)

Los metales pesados pueden cambiar o modificar algunas propiedades del suelo, en ella las propiedades biológicas. El seguimiento de los cambios en propiedades microbiológicas y bioquímicas, pueden utilizarse para evaluar la intensidad de la contaminación del suelo; ya que estos métodos resultan más sensibles y se podría obtener resultados más rápidos. Los metales pesados afectan la diversidad y actividad de microorganismos, la toxicidad de estos dependerá de una serie de factores como temperatura, pH, los minerales arcillosos, la materia orgánica, los aniones y cationes inorgánicos y las formas químicas.(Chibuike & Obiora, 2014)

2.1.5. Metales pesados en las plantas

Las plantas adquieren minerales del suelo en forma de iones inorgánicos, el sistema radicular y su capacidad de absorber iones aunque estas sean bajas, hace que el proceso de absorción sea eficaz. Los elementos minerales pueden ser nutrientes esenciales o elementos tóxicos, que no son nutritivos; los minerales incluyen a los macronutrientes (N, K, Ca, Mg, P, S, Si) y micronutrientes (Cl, Fe, B, Mn, Na, Zn, Cu, Ni y Mo); son componentes esenciales del metabolismo y su estructura; su ausencia o deficiencia reduce su crecimiento y reproducción. La excesiva presencia en el suelo (Cu, Ni y Zn) debido a una ocurrencia natural o actividad antropogénica; es perjudicial para las especies vegetales. En el caso de otros minerales como mercurio, plomo, cromo, arsénico, plata y antimonio son tóxicos para las plantas incluso en bajas concentraciones.(DalCorso, 2012)

Kabata Pendias(2010) citada por (Puga et al., 2006) menciona que toda planta cultivada en suelos contaminados, tienden a absorber más la concentración de metales en sus tejidos, va relacionada con la abundancia de un contaminante en el suelo y la solución húmeda.

. Algunas propiedades del suelo afectan a la disponibilidad de los metales pesados; siendo estos el PH, la textura, condiciones de óxido- reducción, la materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y la presencia de otros elementos, como sucede en el caso del Zn, ya que este influye en la absorción de cadmio por las plantas.

2.1.6. Acumulación de metales pesados

Consiste en el incremento de la concentración de una sustancia química en un organismo biológico en un determinado tiempo, de tal forma que la concentración en los seres vivos llega a ser superior a la del elemento químico en el ambiente. Este proceso de bioconcentración se agrava durante el paso por las distintas cadenas tróficas, siendo el nivel superior donde se encuentran los mayores contaminantes (Navarro *et al.*, 2007)

Los suelos tienden a acumular los metales pesados, muy contrario al agua y aire donde los metales se diluyen; por ello el suelo se convierte en un sumidero de los contaminantes, entre ellos los metales pesados

Las plantas como otros organismos, desarrollan diferentes mecanismos fisiológicos para minimizar la exposición a metales pesados no esenciales; algunos son mecanismos que son necesarios para la homeostasis general de metales y minimizar las altas concentraciones, lo que les confiere tolerancia al estrés. Como primera línea de defensa las plantas expuestas a concentraciones tóxicas intentan prevenir o reducir la captación en las células de la raíz, restringiendo los iones metálicos, o inhibiendo el transporte a larga distancia; y si esto falla los metales que se encuentran en la célula se trata mediante el almacenamiento y desintoxicación; que incluye el transporte de metales, la quelación, el tráfico y secuestro en la vacuola. cuando estas opciones se agotan las plantas activan la defensa del estrés oxidativo y la síntesis de proteínas que provocan el estrés.(Fasani, 2012)

2.1.7. Toxicología de los metales pesados

La exposición a contaminantes ambientales es un problema importante de la toxicología ambiental; los metales pesados se consideran tóxicos para los organismos vivos debido a su predisposición a acumularse en los tejidos seleccionados, además, su presencia es un agente causante de varios tipos de trastornos, comprende los neuro, nefro, carcino, terato e inmunológicos. Las exposiciones de los humanos a las sustancias químicas pueden ocurrir simultáneamente de varias fuentes. Una ruta de exposición es la ingestión de productos químicos peligrosos a través de alimentos y bebidas contaminadas. (Zukowska & Biziuk, 2008)

La eliminación de sustancias tóxicas al suelo, puede traer no solo problemas al medio ambiente, si no que en ocasiones se genera un gran riesgo para la salud. En el suelo las implicaciones van dirigidas a su calidad, considerar un suelo contaminado es cuando este ha superado su capacidad de amortiguación, pasa de esta forma ser un problema. Si esto ocurre en suelos destinados a cultivos, son los seres vivos los principales captadores y por ende afectados. (C. García et al., 2002)

El suelo posee capacidad de autodepuración, ya que la descomposición de la materia orgánica, la actividad química y su capacidad de filtración. Pero es factible solo para contaminantes orgánicos, hay que tener en cuenta que no ocurre lo mismo con todos los tipos de contaminantes de otro origen. Es necesario enfatizar que no todos los metales se comportan de manera igual en el suelo, ya que va ligado a la biodisponibilidad del contaminante. Sin embargo, es necesario hacer hincapié que si bien la presencia de metales pesados en el suelo no sea demasiado peligrosa a cierto nivel de concentración, pero las plantas de cultivos que crecen en ellas se verán afectadas y por ende también involucrar a la salud humana.(C. García et al., 2002)

Tabla 3

Características de los metales pesados en las plantas y su riesgo a la salud humana.

Metal Pesado	Descripcion	Efectos en exceso
Arsenico	<ul style="list-style-type: none">✓ El arsénico(As) en un metaloide, se encuentra en la tabla periódica entre el Plomo(Pb) y el Antimonio (Sb);✓ Forma compuestos orgánicos e inorgánicos.✓ En la naturaleza se encuentra en minerales compuestos de cobre, níquel y hierro y sulfuro y oxido de arsénico.✓ Por su alta toxicidad, ubicua presencia y propiedades organolépticas , presenta gran importancia en la historia de la Toxicología.✓ Los compuestos de arsénico han sido empleados en plaguicidas en el sector agrícola , también como conservante para la madera y aditivos en alimentos para animales.✓ La toxicidad del arsénico , se relaciona a su estado de oxidación y solubilidad.✓ El As pentavalente es 5-10 veces menos toxico que el trivalente y los derivados orgánicos son menos tóxicos que los inorgánicos.(Ferrer, 2003)	<ul style="list-style-type: none">✓ El arsénico afecta múltiples procesos moleculares y celulares, interferencia con sistemas enzimáticos, altera factores de crecimiento, supresión de proteínas, aberraciones y anomalías cromosomaticas, genotoxicidad, alteraciones de la regulación epigenetica del DNA, disminución de la inmunovigilancia, estrés oxidativo y alteración y disfunción de las mitocondrias (Medina-Pizzali et al., 2018)
Cadmio	<ul style="list-style-type: none">✓ El cadmio es toxico, por ser un elemento acumulativo; por ello requiere un estrito manejo y control. Las vias de entrada al organismo es por la inhalacion y la ingestion. La intoxicacion por el cadmio se manifiesta por disfuncion y lesion renal, hipertension, lesiones seas, mutagenesis, cancerogenesis. El envenenamiento produce enfisema pulmonar, cancer, hpertension y diversas cardiopatias. (De la Peña, 2014)	<ul style="list-style-type: none">✓ El cadmio puede ingresar a un organismo por vía oral o respiratoria, después esta es movilizada a la sangre y se llega a concentrar en hígado y riñón.✓ Al concentrarse en órganos vitales , les produce daños irreversibles aun para concentraciones reducidas. Este metal permanece en los órganos con un tiempo de vida media de 30 años.

		<ul style="list-style-type: none"> ✓ El cadmio es un metal pesado que tiende a acumularse en las plantas. La favorabilidad de acumulación de cadmio en las plantas ha llevado a considerarlas como potenciales candidatos para tareas de Fito remediación de este metal.(Reyes <i>et al.</i>, 2016)
Plomo	<ul style="list-style-type: none"> ✓ El plomo proviene de emisiones atmosféricas. Es un elemento que es transformado por luz, aire o agua y de esta manera ingresa a otro organismo. El elemento es conocido por los riesgos que genera hacia la salud humana.(De la Peña, 2014) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La ingestión ya sea de polvo, agua o alimentos contaminados con plomo ; se tienden a acumular en diferentes órganos, tejidos, huesos y dientes, ahí se va acumulando con el paso del tiempo La intoxicación por plomo varía de acuerdo a la edad de la persona y su nivel de exposición (Reyes et al., 2016) ✓ Provoca alteraciones neurológicas, anemia, cáncer de riñón. El más grave es la degeneración de tejido en el sistema nervioso central.
Zinc	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La ingesta en exceso de Zinc, puede llegar a provocar anorexia, vómitos y diarrea. La intoxicación crónica llegaría a generar una deficiencia de cobre y producir daño nervioso. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Crecimiento atrofiado y formación de hojas pequeñas ✓ Incremento del estrés oxidativo: clorosis y necrosis foliar. ✓ Reducción del rendimiento de semillas ✓ A altas concentraciones, genera el enrojecimiento de las hojas. ✓ Manchas marrones necróticas. ✓ Inhibición de la fotosíntesis. ✓ Muerte celular. (Dalcorsó et al., 2014)
Hierro		<ul style="list-style-type: none"> ✓ La intoxicación aguda trae efectos en el sistema gastrointestinal, cardiovascular, efectos en el metabolismo y sobre el sistema nervioso ✓ Hojas manchadas de color oscuro ✓ La absorción de fósforo se deteriora. ✓ Se ralentiza el crecimiento.

2.4. Hipótesis de investigación

2.4.1. Hipótesis general

- La Concentración de metales pesados (As, Cd, Pb, Zn y Fe) en suelos agrícolas y en *Lepidium meyenii* Walpers en la provincia de Junín se encuentran por debajo de los estándares y límites máximos permisibles.

2.4.2. Hipótesis específicas

- La concentración de metales pesados (As, Cd, Pb, Zn y Fe) en suelos agrícolas de Junín y Carhuamayo se encuentran por debajo de los estándares.
- La concentración de metales pesados (As, Cd, Pb, Zn y Fe) en *Lepidium meyenii* Walpers en Junin y Carhuamayo se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles.
- El factor de bioconcentración para los metales pesados (As, Cd, Pb, Zn y Fe) entre suelo agrícola y *L. meyenii* es inferior a 1.

2.5. Operacionalización de variables

Tabla 4

Operacionalización de variables

VARIABLES	INDICADOR	INSTRUMENTO	FUENTE
Concentración de metales pesados	Concentración de: <ul style="list-style-type: none"> • Arsénico • Cadmio • Plomo • Zinc 	Espectrofotómetro de Absorción Atómica	Suelo agrícola
	Concentración de: <ul style="list-style-type: none"> • Arsénico • Cadmio • Plomo • Zinc • Hierro 		<i>Lepidium meyenii</i> Walpers (Maca)

2.6.Marco Normativo

2.6.1. Legislación ambiental para suelos agrícolas

Los Estándares de calidad ambiental para suelo, son criterios para la gestión de sitios contaminados, para poder regular la presencia de metales pesados en suelos, para diferentes usos de suelos. Estos son de carácter preventivo. (MINAM, 2017)

a) Legislación Nacional

Tabla 5

ECAs_suelo, concentraciones máximas de metales pesados en suelos agrícolas.

Parámetros	Suelo Agrícola	Fuente
Arsénico	50 mg/kg	
Cadmio	1.4 mg/kg	D.S N° 011-2017-MINAM
Plomo	70 mg/kg	

b) Legislación internacional

Tabla 6

Límite máximo permisible para Arsénico en suelos agrícolas.

Nombre	Nivel (mg/kg)	Fuente
Suelo agrícola	12	(Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), 1999)

Tabla 7

Límite máximo permisible para Cadmio en suelos agrícolas.

Nombre	Nivel (mg/kg)	Fuente
Suelo agrícola	1.4	(Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), 1999)

Tabla 8

Límite máximo permisible para Plomo en suelos agrícolas.

Nombre	Nivel (mg/kg)	Fuente
Suelo agrícola	70	(Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), 1999)

Tabla 9

Límite máximo permisible para Zinc en suelos agrícolas.

Nombre	Nivel (mg/kg)	Fuente
Suelo agrícola	200	LMP Ecuador
		Chambi et al., 2017
	200	(Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), 1999)

NOTA: No existe un Límite máximo establecido del contenido de hierro en suelos agrícolas, Sarabia *et al.*, (2011) menciona que valores mayores a 70000 mg/kg, podría ser riesgo.

2.6.2. Legislación para cultivos agrícolas

Comparación con límites máximos permisibles de metales pesados en alimentos y/o cultivos:

a) Arsénico

Tabla 10

Límite máximo permisible para arsénico en cultivos agrícolas.

Nombre		Nivel (mg/kg)	Fuente
Cultivos agrícolas		0.1	Kabata Pendías (2010)
Legumbres tubérculos	y	0.5	China Food and Drug Administration. (2018) GB 2762 - 2017

b) Cadmio

Tabla 11

Límite máximo permisible para Cadmio en raíces y tubérculos.

Nombre		Nivel (mg/kg)	Notas/observaciones
Raíces tubérculos	y	0.1	CODEX STAN 193-1995
Hortalizas tubérculos	y	0.1	China Food and Drug Administration. (2018) GB 2762 - 2017

c) Plomo

Tabla 12

Límite máximo permisible para plomo en raíces y tubérculos.

Nombre	Nivel (mg/kg)	Notas/observaciones
Raíces y tubérculos	1	CODEX STAN 193-1995
Legumbres y tubérculos	0.2	China Food and Drug Administration. (2018) GB 2762 - 2017

d) Zinc

Tabla 13

Límite máximo permisible para zinc en cultivos agrícolas.

Nombre	Nivel (mg/kg)	Fuente
Cultivos agrícolas	50	Kabata Pendias (2010)

Fuente : Chambi *et al.*, 2017

e) Hierro

Tabla 14

Límite máximo permisible para hierro en cultivo agrícola.

Nombre	Nivel mg/kg	Fuente
Cultivos agrícolas	100 a 500	Sarabia <i>et al.</i> , (2011)

Fuente : Chambi *et al.*, 2017

CAPITULO III. MATERIALES Y MÉTODO

3.5.Ámbito de estudio

3.5.1. Ubicación política

Las parcelas de donde se obtuvieron las muestras de *L. meyenii* y suelo agrícola están ubicadas en los distritos de Junín y Carhuamayo. (Anexo 5)

Tabla 15

Ubicación política de los distritos de Junín y Carhuamayo.

Ubicación Política	
País	Perú
Región	Junín
Provincia	Junín
Distritos	Junín y Carhuamayo

3.5.2. Ubicación Geográfica

Tabla 16

Ubicación geográfica de las zonas de estudio.

Distrito	Población	Altitud (msnm)
Junín	9 893	4 113
Carhuamayo	7 784	4 126

Fuente: INEI, 2015

3.5.3. Ubicación de parcelas de cultivo

Tabla 17

Ubicación de cultivos de L. meyenii.

Distrito	Este	Oeste	Altitud	Hectáreas
	388266	8797081	4416	14
	389476	8796495	4342	1.87
Carhuamayo	394535	8796489	4450	7.9
	390557	8794624	4454	20.3
	387898	8790325	4414	4.1
	395759	8786356	4279	0.9
	394696	8785892	4285	3.1
Junín	395557	8779953	4246	3.66
	397111	8769201	4473	9.5
	393908	8765135	4271	7.4

a) Clima

La provincia de Junín presenta un clima frío y seco, siendo las temperaturas bajo 0°C en la noche. El clima corresponde a la puna que se ubica entre 4000 y 4500 m.s.n.m , la temperatura oscila entre 3° y 7°C, siendo los meses más fríos entre mayo y setiembre.(MINAM & SERNANP, 2008); presenta una presión atmosférica de 600hPa/450mmHg, con radiación extrema de 17, con temperaturas muy bajas, la humedad alrededor de 85% y terrenos rocosos.

b) Zonas de Vida

Los distritos en estudio están dentro de la zona de vida de paramo muy húmedo subalpino tropical (pmh - SaT), abarca la mayor parte de la sierra del departamento de Junín. Alberga las zonas altoandinas de las provincias de Junín, Yauli y Huancayo. Se encuentra entre los 4000 a 4500 msnm, con una biotemperatura media anual entre 3.0 a 6.0 °C. Su régimen de precipitación entre 1000 a 1200 mm de lluvia total anual. Representa un 11.68% de toda la superficie del departamento.

c) Topografía

La provincia de Junín, es un territorio homogéneo, ya que sus distritos se encuentran sobre los 4000 msnm, a excepción de Ulcumayo. La ubicación alta de la provincia conforma parte del denominado Nudo de Pasco, punto de unión de un sistema de montañas del centro del Perú.

3.5.4. Lugar de análisis de muestras

La fase de análisis de metales pesados se realizó en el Laboratorio de Análisis Químico de la Facultad de Ciencias Aplicadas de Tarma – UNCP, ubicado en el distrito

de Tarma, provincia de Tarma. Las muestras de *L. meyenii* y suelo agrícola fueron recolectadas en los distritos de Junín y Carhuamayo.

3.6. Metodología de estudio

3.6.1. Tipo y nivel de investigación

Es una investigación de tipo aplicada, porque se va a utilizar conocimientos y hallazgos tecnológicos que provienen de la investigación básica (Lozada J, 2014). Se busca aplicar la información de la investigación y con ello poder ayudar a resolver un problema.

El nivel de investigación corresponde a una investigación descriptiva comparativa. Para describir, analizar e interpretar la acumulación de los metales pesados en la planta y suelo.

3.6.2. Diseño de investigación

El diseño que se utilizó es no experimental, porque no se manipulo deliberadamente las variables; nos basamos en la observación de un fenómeno tal y como está en su medio natural y después poder analizarlo. Observamos las variables y relaciones que ya ocurrieron. Corresponde a un diseño no experimental transversal; porque las mediciones se realizaron solo una vez.

- M1→ O1
- M2→ O2
- M3→ O3
- Mn→ On

Dónde:

- M1, M2, M3, Mn: Muestras de *L. meyenii* (02 variedades) y suelo agrícola
- O1, O2, O3, On: Observación de muestras según variedad y localidad.

3.6.3. Población y muestra

a) Población

25 ha de Cultivos de *L. meyenii* del distrito de Junín y 48 Ha en Carhuamayo.

b) Muestra

Vegetal: Constituida por 10 kg de *L. meyenii* variedad morada y 10 kg de *L. meyenii* variedad amarilla

Suelo: 10 kg de suelo agrícola entre los distritos de Junín y Carhuamayo, 1 kg por cultivo.

Muestra extraída de 0- 30 cm del suelo.

3.6.4. Variables de investigación

a) Variables independientes

- Lugar: Distritos de origen de las muestras de *L. meyenii* y suelos agrícolas.
- Variedad: Ecotipo o color de hipocótilo de maca.

b) Variables dependientes

- Concentración de metales pesados.
- Factor de Bioconcentración de metales pesados.

3.6.5. Prueba de hipótesis estadística

La contrastación de la hipótesis de la investigación se realizó mediante el ANOVA de una vía y ANOVA de dos vías aun nivel de significancia $\alpha=0.05$.

3.7.Materiales y equipos

3.7.1. Materiales de campo

- 01 libreta de campo
- 01 GPS Garmin-12
- 01 cámara fotográfica digital Canon- Zoom Lens 30x 1s
- 01 binocular 10x50
- Lapiceros
- Plumón indeleble
- Cinta de embalaje
- Bolsas Ziploc
- Botas de jebe
- Capotín
- Hojas de registro (formato pre establecido).

3.7.2. Materiales de Laboratorio

3.7.2.1.Materiales

- Plumón indeleble
- Bolsas Ziploc – herméticos.
- Cinta adhesiva
- Luna de reloj
- Placas Petri
- Fiolas 100mL
- Pipetas de 2mL, 5 mL

- Embudos
- Papel filtro
- Vaso precipitado
- Varillas

3.7.2.2.Equipos

- Espectrofotómetro Varian AA 240.
- Desecador o campana de secado.
- Cocinilla CAT H30/450 serie: 535163.
- Tamizador eléctrico Zonytest modelo EIR2000 serie 0451; malla N°80 micrón 177.
- Balanza de precisión N° E1RV70
- “Molino Pulverizador” modelo Pulverisette 2 de la marca “Fritsch”

3.7.2.3.Reactivos

- Agua destilada, para la preparación de estándares y limpieza de materiales.
- Ácido clorhídrico 37%
- Ácido Nítrico 65%

3.8.Procedimiento

3.8.1. Fase de pre campo

a) Recolección de información

Se recolectó información de los productores de maca de los distritos de Junín y Carhuamayo, para poder ubicar así los puntos de muestreo.

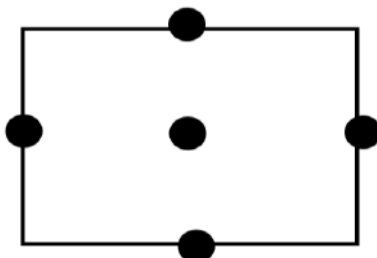
b) Ubicación de los puntos de muestreo

Con la información recolectada de los productores ubicamos los puntos de parcelas de maca para el estudio. Basándonos en la guía para muestreo de suelo (MINAM, 2014), preparamos las herramientas para la extracción de muestra vegetal y suelo (Véase Tabla 17).

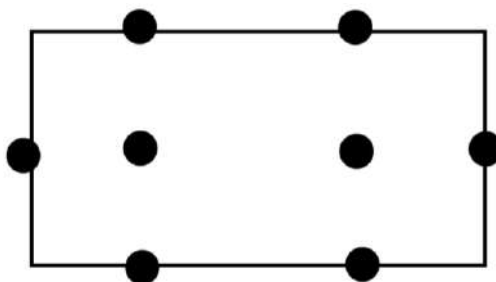
3.8.2. Fase de campo

○ Obtención de muestras de suelo y *L. meyenii*

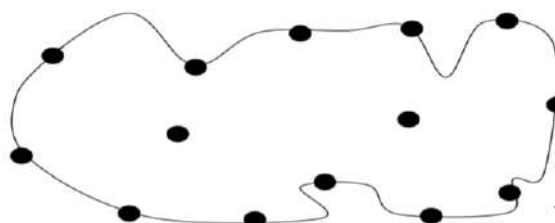
- Se recolectaron 20 muestras de *L. meyenii* y 10 muestras de suelo agrícola, en los distritos de Junín y Carhuamayo.
- Para la recolección de muestras en cultivos de *L. meyenii*, que tenían un área regular y eran menor a 1000m²; se tomaron muestras con puntos equidistantes; como se muestra en la siguiente imagen.



- Para chacras de *L. meyenii*, que tenían un área regular y mayor a 1000m²; se tomaron muestras con puntos equidistantes; como se muestra en la imagen

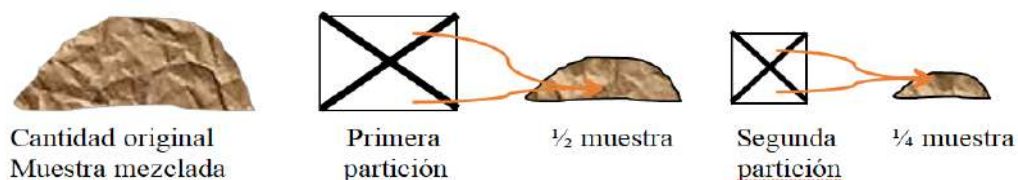


- Para chacras de *L.meyenii*, que tenían un área irregular y mayor a 1000m²; se tomaron puntos sin un patrón, pero sí que represente a toda el área de la chacra; como se muestra en la imagen



- Las muestras de suelo fueron obtenidas de los mismos puntos que la muestra vegetal y mediante el método de cuarteo se obtuvo una muestra representativa.

Cuarteo de muestras mezcladas.



Fuente:(MINAM, 2014)

- Las muestras de suelo y *L. meyenii* recolectadas, se llenaron en bolsas ziploc, para preservar y conservar las muestras para el posterior análisis; se rotularon con un código.

Figura 2

Recolección de suelo agrícola en Shalipayco - Carhuamayo.



Figura 3

Recolección de L. meyenii en Chacpas - Huayre.



3.8.3. Fase de Laboratorio

3.8.3.1. Preparación de muestras

- Los materiales de laboratorio a utilizar se lavaron, limpiaron y secaron con agua destilada para eliminar cualquier residuo.
- Los hipocótilos de *L.meyenii*, después de su recolección en campo se lavaron cuidadosamente con agua destilada hasta quitar los residuos.
- Después paso por el proceso de secado a condiciones naturales, para posteriormente con en el “Molino Pulverizador” modelo Pulverisette 2 de la marca “Fritsch” se realizará el proceso de molienda.

Figura 4

Muestras molidas de maca amarilla y morada.



- Después de molidas las muestras, se pesó 1gr de *L. meyenii* por cada variedad.
- En un vaso de precipitado de 100 mL se colocó el gramo de muestra y con una pipeta se agregó 10 ml de ácido nítrico, para después colocarlos en la cocinilla-CAT H30/4SC-535163, por un periodo de dos horas; luego se le agregó 10 ml de ácido clorhídrico. Pasado el proceso de digestión, las muestras se filtraron utilizando filtros Whatman N° 40 y colocaron en una fiola y se agregó agua destilada hasta completar 100ml.

Figura 5

Proceso de digestión de las muestras de L.meyenii.



Figura 6

Filtración de las muestras después del proceso de digestión acida.



- La concentración de Pb, Zn, Fe y Cd de las muestras se analizaron usando un espectrofotómetro de absorción atómica de llama, se prepararon las curvas de calibración para cada metal; en Pb en intervalos de concentración de 0.1 a 2.5 mg/L; para Zn 0.25 a 1.5 mg/L; para Fe 1 a 10 mg/L y para Cd de 0.1 a 1 mg/L.; para el arsénico se realizó por el método de la curva de calibración, usando estándar puro de arsénico, del cual se prepararon 4 patrones en los rangos de 0.1 a 7.5 mg/L.

3.8.3.2. Lectura de muestras

- La técnica usada para la lectura de muestras fue mediante el Espectrofotómetro de Absorción Atómica. Para la medición de cada metal se realizó la calibración del equipo mediante estándares. Se preparó una curva de calibración en el intervalo de concentraciones, partiendo de un estándar comercial de 1000 µg/L (Merck).

- La Espectrofotometría de Absorción Atómica, es una técnica que nos ayuda a determinar cualitativa y cuantitativamente los metales pesados. Este método se basa en la atomización del analito, las partículas presentes en el material (átomos, iones o moléculas), absorben radiación electromagnética provocando que pasen a uno o más estados excitados de mayor energía, al ser un estado inestable, las partículas vuelven a su configuración inicial, emitiendo una radiación de una determinada frecuencia. La radiación absorbida o emitida se puede caracterizar mediante espectros. La cantidad de luz absorbida después de pasar a través de la llama determinada de analito existente en la muestra.(Madueño , 2017)

Figura 7

Lectura de muestras en el Espectrofotómetro de absorción atómica Varian AA240



3.9. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.9.1. Técnicas de procesamiento de datos

- El procesamiento de nuestros datos recolectados en campo y en laboratorio, se analizaron con el software SPSS 25, Excel 2017
- Se analizó y describió los resultados del análisis estadístico, para poder interpretar el comportamiento de nuestras variables.
- Se aplicó en Análisis de Varianza ANOVA con un nivel de significación de $\alpha = 0.05$.
- Con los datos se generaron gráficos, para mejorar la visualización de los resultados

3.9.2. Determinación del Factor de Bioconcentración

$$FBC = \frac{C_r(metal)}{C_s(metal)}$$

C_r : Concentración de metales pesados en la raíz

C_s : Concentración de metales pesados en suelo agrícola

* $FBC > 1$, se considera a una especie hiperacumuladora o con tendencia a acumular metales pesados.

* $FBC < 1$ se considera una especie exclusiva.

CAPITULO IV. RESULTADOS

4.5. Concentración de metales pesados en suelo agrícola del distrito de Junín y Carhuamayo.

La concentración de arsénico (As), Cadmio (Cd), plomo (Pb), zinc (Zn) y hierro (Fe), en el suelo de cultivo de *L. meyenii* proveniente del distrito de Junín y Carhuamayo no superan los estándares de calidad ambiental para suelo agrícola. Las concentraciones medias de suelos agrícolas variaron de 14.65 a 20.25 mg/kg para As, 0.29 a 1.03 mg/kg de Cd, 23.41 – 75.61 mg/kg de plomo, 14395-20175 mg/kg de Fe y 59.21-145.76 mg/kg para zinc.

Tabla 18

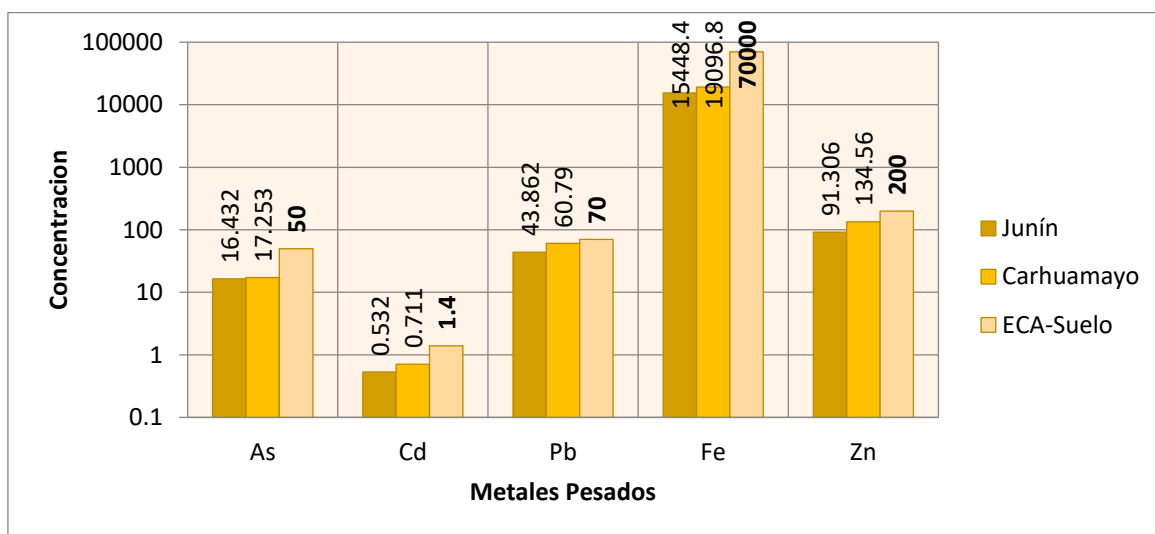
Concentración de metales pesados (mg/kg) en suelos agrícolas con cultivo de L. meyenii en Junín y Carhuamayo.

Distrito	As		Cd		Pb		Fe		Zn	
	Rango	Media ± DE	Rango	Media ± DE	Rango	Media ± DE	Rango	Media ± DE	Rango	Media ± DE
Junín	14.87-18.55	16.43± 1.49	0.29-1.03	0.53± 0.29	23.41-62.93	43.86± 17.68	14395-17362	15448.40± 1202.09	59.21-132.91	91.31± 29.58
Carhuamayo	14.65-20.25	17.25± 2.38	0.59-0.90	0.71± 0.12	47.81-75.61	60.79± 11.92	17863-20175.	19096.80± 956.99	120.77-145.76	134.56± 11.34
ECA		50		1.4		70		70000		200

En la Figura 8 se observa que la concentración de As, Cd, Pb, Zn y Fe no superan los estándares de calidad ambiental. Los valores de concentración de cadmio, plomo y zinc; son bastante cercanas al estándar de calidad de suelo.

Figura 8

Concentración de metales pesados en suelo de cultivo de L. meyenii en los distritos de Junín y Carhuamayo frente a los ECAs



4.5.1. Concentración de arsénico, cadmio, plomo, zinc y hierro en suelos agrícolas

En la *tabla 18*, los resultados del ANOVA para la concentración de arsénico en suelos agrícolas para los distritos de Junín y Carhuamayo, con un valor $p = 0.532 > 0.05$, se puede afirmar con un 95% de confianza estadística que no hay diferencia estadística significativa en la concentración de arsénico por distrito. Para la concentración de cadmio en suelo agrícola se obtuvo un valor $p=0.247$ mayor a 0.05, por lo tanto con un 95% de confianza estadística, se puede afirmar que no hay diferencia estadística significativa entre las concentraciones de cadmio por distrito; de la misma manera para la

concentración de plomo en suelos agrícolas en Junín y Carhuamayo, con un valor $p=0.114$ mayor a 0.05, por lo tanto se puede afirmar que no hay diferencia estadística significativa entre las concentraciones de plomo por distrito. En cambio para la concentración de hierro en suelos agrícolas para Junín y Carhuamayo, el valor $p=0.001$ es menor a 0.05, por lo tanto se puede afirmar que si existe diferencia estadística significativa entre las concentraciones de hierro y por último para la concentración de zinc en suelos agrícolas para Junín y Carhuamayo, el valor $p=0.016$ es menor a 0.05, por lo tanto con un 95% de confianza estadística, se puede afirmar que si existe diferencia estadística significativa entre las concentraciones de zinc.

Tabla 19

ANOVA para metales en suelo agrícola del distrito de Junín y Carhuamayo.

Metales	Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Cuadrado medio	Fc	Sig.
Arsénico(mg/kg)	Distrito	1.684	1	1.684	0.426	0.532
Cadmio (mg/kg)	Distrito	0.080	1	0.080	1.560	0.247
Plomo (mg/kg)	Distrito	716.393	1	716.393	3.150	0.114
Zinc (mg/kg)	Distrito	4677.271	1	4677.271	9.355	0.016
Hierro (mg/kg)	Distrito	33277056.400	1	33277056.400	28.105	0.001

4.6. Concentración de metales pesados en *L. meyenii* según variedad en los distritos de Junín y Carhuamayo.

La concentración de arsénico en *L. meyenii* proveniente del distrito de Junín y Carhuamayo, en ambas variedades no supera el límite máximo permisible de 1mg/kg; en el caso del cadmio la concentración de esta en ambos distritos y variedades es mayor al límite máximo permisible de 0.1 mg/kg , para plomo de igual manera superan el límite máximo de 0.1 mg/kg ; para el hierro la concentración no supera el límite máximo en ningún distrito ni variedad y para el zinc la concentración media no supera el límite máximo permisible.

Tabla 20

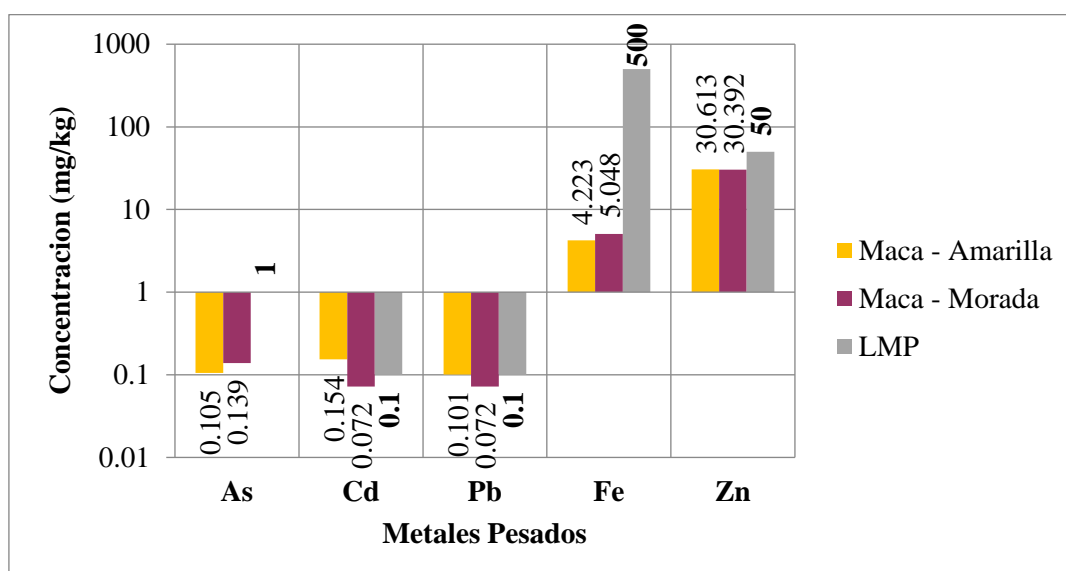
Concentración media de metales pesados en L. meyenii según lugares y variedades.

Lugares	Variedad	As		Cd		Pb		Fe		Zn	
		Rango	Media ± DE	Rango	Media ± DE	Rango	Media ± DE	Rango	Media ± DE	Rango	Media ± DE
Junín	<i>L. meyenii</i> - Amarilla	0.09-0.12	0.11 ± 0.01	0.13-0.19	0.15 ± 0.02	0.06-0.12	0.10 ± 0.02	3.53-5.09	4.22 ± 0.64	25.90-37.71	30.61 ± 4.39
	<i>L. meyenii</i> - Morada	0.09-0.18	0.14 ± 0.03	0.05-0.09	0.07 ± 0.02	0.03-0.09	0.07 ± 0.02	4.28-5.57	5.05 ± 0.53	22.40-35.23	30.39 ± 4.86
Carhuamayo	<i>L. meyenii</i> - Amarilla	0.09-0.19	0.14 ± 0.04	0.19-0.28	0.22 ± 0.04	0.14-0.26	0.21 ± 0.05	4.23-5.53	4.98 ± 0.53	33.60-38.05	36.19 ± 1.76
	<i>L. meyenii</i> - Morada	0.13-0.27	0.21 ± 0.05	0.12-0.23	0.18 ± 0.05	0.10-0.22	0.17 ± 0.04	4.67-5.98	5.45 ± 0.55	30.50-38.66	33.66 ± 3.08
LMP		1		0.1		0.1		500		50	

En la *Figura 9* para el distrito de Junín, la concentración de arsénico no supera el límite máximo permisible para ninguna de las variedades; en el caso de cadmio la variedad amarilla supera el límite máximo permisible en 0.054 mg/kg; para el plomo de igual manera en la variedad amarilla supera el límite máximo en 0.001 mg/kg; la presencia de hierro y zinc están por debajo del límite máximo permisible.

Figura 9

Concentración de metales pesados en L.meyenii en el distrito de Junín

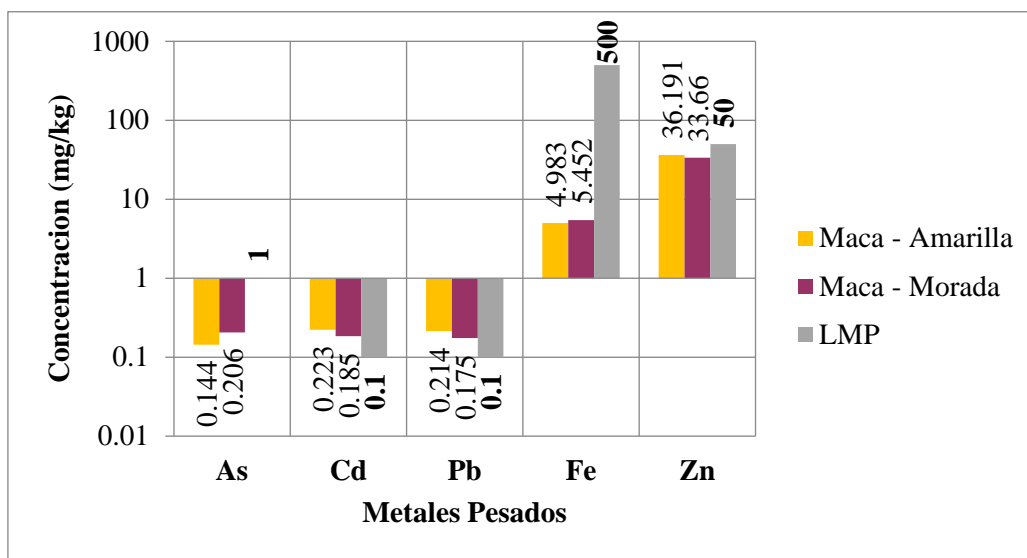


En la *Figura 10* para el distrito de Carhuamayo, la concentración de arsénico no supera el límite máximo permisible para ninguna de las variedades; en el caso de cadmio para ambas variedades supero el límite máximo permisible en 0.123 mg/kg para la variedad amarilla y 0.085 mg/kg en la variedad morada; para el plomo de igual manera en la variedad amarilla supera el límite máximo en 0.114 mg/kg y 0.075 mg/kg en la

variedad morada ; la presencia de hierro y zinc están por debajo del límite máximo permisible.

Figura 10

Concentración de metales pesados en L.meyenii en el distrito de Carhuamayo.



4.6.1. Concentración de arsénico, cadmio, plomo, hierro y zinc en *L. meyenii*

4.6.1.1. Concentración de arsénico

En la *tabla 21* tomando los resultados de ANOVA para la concentración de arsénico en *L. meyenii* según distrito, con un valor $p=0.006$ siendo este menor a 0.05, se puede afirmar con un 95% de confianza estadística que si existe diferencia estadística significativa. La concentración de arsénico según la variedad de *L. meyenii* con un valor $p=0.011$, que es menor a 0.05 se puede afirmar que si existe diferencia estadística significativa.

Tabla 21

ANOVA de concentración de arsénico en *L. meyenii* según variedades en Junín y Carhuamayo.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado medio	Fc	Sig.
Distrito	0.014	1	0.014	9.872	0.006
Variedad	0.012	1	0.012	8.162	0.011
Error	0.023	16	0.001		
Total	0.491	20			

4.6.1.2. Concentración de cadmio

En la *tabla 22*, los resultados de ANOVA para la concentración de cadmio en *L. meyenii* según distrito, con un valor $p=0.000$ siendo este menor a 0.05, se puede afirmar con un 95% de confianza estadística que si existe diferencia estadística significativa. La concentración de cadmio según la variedad de *L. meyenii* con un valor $p=0.000$, que es menor a 0.05 se puede afirmar que si existe diferencia estadística significativa entre variedades.

Tabla 22

ANOVA de concentración de cadmio en *L. meyenii* según variedades en Junín y Carhuamayo.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado medio	Fc	Sig.
Distrito	0.042	1	0.042	42.767	0.000
Variedad	0.024	1	0.024	24.532	0.000
Error	0.016	16	0.001		
Total	0.584	20			

4.6.1.3. Concentración de plomo

En la *tabla 23*, los resultados de ANOVA para la concentración de plomo en *L. meyenii* según distrito, con un valor $p=0.000$ siendo este menor a 0.05, se puede afirmar con un 95% de confianza estadística que si existe diferencia estadística significativa. La concentración de plomo según la variedad de *L. meyenii* con un valor $p = 0.057$, que es menor a 0.05 se puede afirmar que no existe diferencia estadística significativa entre variedades.

Tabla 23

ANOVA de concentración de plomo en L. meyenii según variedades en Junín y Carhuamayo.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado medio	Fc	Sig.
Distrito	0.058	1	0.058	42.785	0.000
Variedad	0.006	1	0.006	4.189	0.057
Error	0.022	16	0.001		
Total	0.479	20			

4.6.1.4. Concentración de hierro

En la *tabla 24*, los resultados de ANOVA para la concentración de hierro en *L. meyenii* según distrito, con un valor $p=0.035$ siendo este menor a 0.05, se puede afirmar con un 95% de confianza estadística que si existe diferencia estadística significativa. La concentración de hierro según la variedad de *L. meyenii* con un valor $p=0.021$, que es menor a 0.05 se puede afirmar que si existe diferencia estadística significativa entre variedades.

Tabla 24

ANOVA de concentración de hierro en *L. meyenii* según variedades en Junín y Carhuamayo.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado medio	Fc	Sig.
Distrito	1.695	1	1.695	5.340	0.035
Variedad	2.090	1	2.090	6.587	0.021
Error	5.078	16	0.317		
Total	494.469	20			

4.6.1.5. Concentración de zinc

En la *tabla 25*, los resultados de ANOVA para la concentración de zinc en *L. meyenii* según distrito, con un valor $p=0.017$ siendo este menor a 0.05, se puede afirmar con un 95% de confianza estadística que si existe diferencia estadística significativa. La concentración de zinc según la variedad de *L. meyenii* con un valor $p=0.421$, que es mayor a 0.05 se puede afirmar que no existe diferencia estadística significativa entre variedades.

Tabla 25

ANOVA de concentración de zinc en *L. meyenii* según variedades en Junín y Carhuamayo.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado medio	Fc	Sig.
Distrito	97.801	1	97.801	7.055	0.017
Variedad	9.468	1	9.468	0.683	0.421
Error	221.815	16	13.863		
Total	21739.933	20			

4.7. Factor de bioconcentración

En la *tabla 26*, se muestra los promedios del factor de bioconcentración en *L. meyenii* en los distritos de Junín y Carhuamayo, por variedad; para ninguna de las variedades se supera el $FBC > 1$; por lo tanto, son consideradas especies excluyente.

Tabla 26

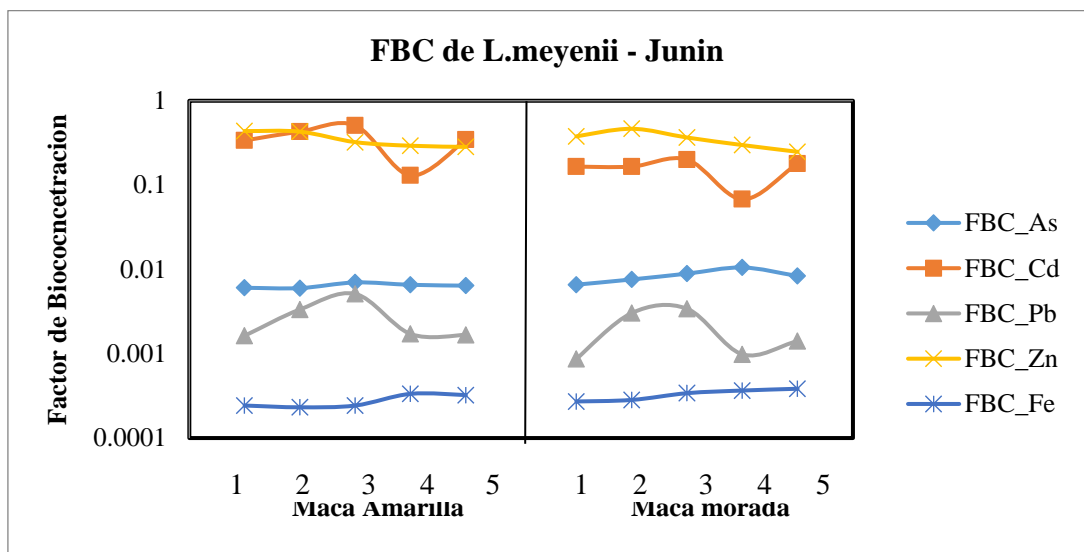
Factor de Bioconcentración en L. meyenii según lugares y variedad.

Distrito	Variedad	FBC_As		FBC_Cd		FBC_Pb		FBC_Zn		FBC_Fe	
		Rango	Media ± DE	Rango	Media ± DE	Rango	Media ± DE	Rango	Media ± DE	Rango	Media ± DE
Junín	Amarillo	0.0060-0.0070	0.0064±0.0004	0.1301-0.5087	0.3507±0.1417	0.0016-0.0051	0.0027±0.0015	0.2837-0.4374	0.3533±0.0747	0.0002-0.0003	0.0003±0.0001
	Morada	0.0066-0.0105	0.0084±0.0015	0.0680-0.2007	0.1558±0.0512	0.0009-0.0034	0.0019±0.0012	0.2481-0.4653	0.3513±0.0828	0.0003-0.0004	0.0003±0.0001
Carhuamayo	Amarillo	0.0051-0.0119	0.0086±0.0032	0.2799-0.3880	0.3298±0.0534	0.0025-0.0047	0.0036±0.0008	0.2445-0.3064	0.2702±0.0226	0.0002-0.0003	0.0003±0.0000
	Morada	0.0082-0.0164	0.0121±0.0034	0.1782-0.3127	0.2497±0.0583	0.0019-0.0040	0.0029±0.0008	0.2216-0.2816	0.2513±0.0275	0.0002-0.0003	0.0003±0.0000

El factor de bioconcentración de *L. meyenii* para muestras provenientes del distrito de Junín, tanto para la variedad amarilla y morada, son todo menores a 1(FBC<1), no es una especie que acumula metales pesados.

Figura 11

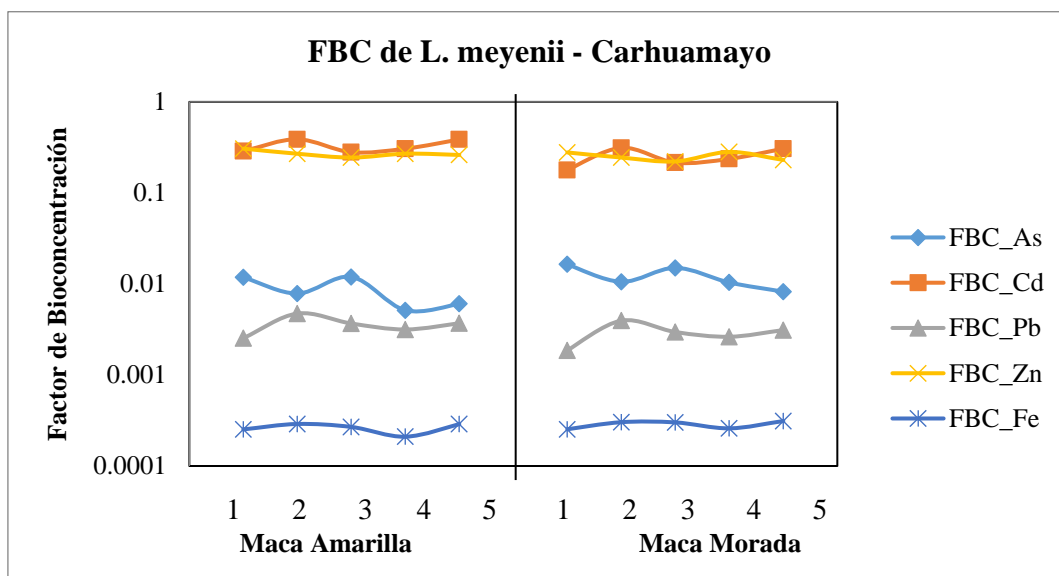
Grado de acumulación de metales pesados en maca amarilla y morada proveniente del distrito de Junín.



El factor de bioconcentración de *L. meyenii* para muestras provenientes del distrito de Carhuamayo, tanto para la variedad amarilla y morada, presentan valores menores a 1(FBC<1), por lo tanto, no es una especie que acumula metales pesados.

Figura 12

Grado de acumulación de metales pesados en maca amarilla y morada proveniente del distrito de Carhuamayo.



4.7.1. Factor de bioconcentración de Arsénico

En la *tabla 27* observamos que el factor de bioconcentración de *L.meyenii* para el arsénico, presenta diferencia estadística significativa dependiendo del distrito de procedencia ($p < 0.05$) y de igual manera la variedad de maca ($p < 0.05$).

Tabla 27

ANOVA de bioconcentración de arsénico entre factor lugar y variedad de *L. meyenii*.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado medio	Fc	Sig.
Distrito	4.305E-05	1	4.305E-05	7.069	0.017
Variedad	3.852E-05	1	3.852E-05	6.324	0.023
Error	0.000	16	6.091E-06		
Total	0.002	20			

4.7.2. Factor de bioconcentración de Cadmio

En la *tabla 28* observamos que el factor de bioconcentración de *L.meyenii* para el cadmio, no varía dependiendo del distrito de procedencia ($p>0.05$); pero si existe una diferencia estadística significativa para la variedad de maca ($p<0.05$).

Tabla 28

ANOVA de bioconcentración de cadmio entre factor lugar y variedad de L. meyenii.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado medio	Fc	Sig.
Distrito	0.007	1	0.007	0.920	0.352
Variedad	0.095	1	0.095	13.067	0.002
Error	0.116	16	0.007		
Total	1.708	20			

4.7.3. Factor de bioconcentración de Plomo

En la *tabla 29* observamos que para el factor de bioconcentración de *L.meyenii* para el plomo, no existe diferencia estadística significativa dependiendo del distrito de procedencia ($p>0.05$) y tampoco por la variedad de maca ($p>0.05$).

Tabla 29

ANOVA de bioconcentración de plomo entre factor lugar y variedad de L. meyenii.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado medio	Fc	Sig.
Distrito	4.154E-06	1	4.154E-06	3.316	0.087
Variedad	2.489E-06	1	2.489E-06	1.987	0.178
Error	2.004E-05	16	1.253E-06		
Total	0.000	20			

4.7.4. Factor de bioconcentración Zinc

En la *tabla 30* observamos que el factor de bioconcentración de *L.meyenii* para el zinc, varía dependiendo del distrito de procedencia ($p < 0.05$) y no existe diferencia estadística significativa por la variedad de maca ($p > 0.05$).

Tabla 30

ANOVA de bioconcentración de zinc entre factor lugar y variedad de L. meyenii.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado medio	Fc	Sig.
Distrito	0.042	1	0.042	12.226	0.003
Variedad	0.001	1	0.001	0.160	0.694
Error	0.055	16	0.003		
Total	1.977	20			

4.7.5. Factor de bioconcentración de Hierro

En la *tabla 31* observamos que el factor de bioconcentración de *L.meyenii* para el hierro, no varía dependiendo del distrito de procedencia ($p > 0.05$) y no existe diferencia estadística significativa entre variedades de maca ($p > 0.05$).

Tabla 31

ANOVA de bioconcentración de hierro entre factor lugar y variedad de L. meyenii.

Fuente de variación	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrado medio	Fc	Sig.
Distrito	4.022E-09	1	4.022E-09	2.382	0.142
Variedad	7.603E-09	1	7.603E-09	4.504	0.050
Error	2.701E-08	16	1.688E-09		
Total	1.697E-06	20			

CAPITULO V. DISCUSIONES

5.1. Concentración de metales en el suelo

La concentración media de As, Cd, Pb, Zn y Fe en las muestras de suelo del cultivo de maca presentes en la *Tabla 15*, no superaron los límites nacionales (MINAM, 2017) y tampoco la normativa internacional (CCME, 1999); sin embargo los valores encontrados para plomo (52.33 ± 16.79 mg/kg) se acercan a los límites máximos permisibles. Los elementos más abundantes fueron el Zinc (112.93 ± 31.05 mg/kg) y hierro (17272.60 ± 2179.43 mg/kg) pero estos valores estuvieron por debajo de los límites permisibles. Si bien los metales encontrados en el suelo de cultivo podría ser consecuencia del uso de fertilizantes orgánicos e inorgánicos y la contaminación de los suelos. Es importante poder determinar las fuentes de contaminación y dispersión de estas. En una comparación entre los lugares de estudio; la presencia de metales pesados en el distrito de Carhuamayo es mayor a la de Junín.

Entre los dos sitios de muestreo se encontró en orden decreciente la concentración de metales pesados Carhuamayo > Junín, no se detectaron diferencias significativas en las concentraciones medias de As, Cd, Pb, Zn y Fe en las dos localidades estudiadas.

(Energiminas, 2019) menciona que existe un proyecto minero ubicado cerca de los puntos de estudio en el distrito de Carhuamayo, su extensión es de 21 mil hectáreas aproximadamente; es un yacimiento polimetálico con contenidos de zinc, plomo y plata. Las muestras de suelo que presentan mayor cantidad de metales pesados, son el plomo, hierro y zinc; esto podría deberse a la cercanía con este yacimiento.

Oliva et al.,(2019) en su estudio sobre la concentración de cadmio en suelos contaminados en la provincia de Luyas obtuvo un valor de 3.99mg/kg ; superando a nuestros resultados. Los suelos evaluados en su investigación ha sido seriamente contaminada con cadmio, probablemente por el uso de pesticidas y fertilizantes fosfatados en el cultivo de papa. En algunos cultivos de *L. meyenii*, se uso abono organico.

5.2.Acumulación de metales en *L. meyenii*

Los resultados de concentración media de metales pesados en *L. meyenii* dejaron ver que entre las dos variedades de maca presentan niveles bajos de metales, el elemento más abundante fue el Zn con valores de 33.40 ± 4.31 y 32.03 ± 4.20 mg/kg para maca amarilla y morada respectivamente, seguido del Fe con valores de 4.60 ± 0.68 y 5.25 ± 0.55 mg/kg en ambas variedades respectivamente. Para el caso del As tuvo valores de 0.12 ± 0.04 y 0.17 ± 0.05 mg/kg para la variedad amarilla y morada, cada valor que dio como resultado están por debajo de los límites recomendados; asimismo el Pb con 0.16 ± 0.07 y 0.12 ± 0.64 mg/kg para ambas variedades por debajo del límite máximo permisible (China Food and Drug Administration, 2018); por el contrario el cadmio es el único que se encuentran por encima de los límites máximos permisibles con 0.19 ± 0.05 y 0.12 ± 0.06 mg/kg de Cd para

variedad amarillo y morada. Las concentraciones medias de metales pesados halladas en los hipocótilos disminuyeron en el orden de Zn>Fe>Cd>Pb>As, haciendo notar que el Zn y Fe se acumulan más en la raíz en comparación con los otros metales estudiados; lo cual puede estar relacionado a la biodisponibilidad de estos elementos en el suelo.(Kabata-Pendias, 2010)

Espinoza & Quispe (2016) en su estudio de determinación cuantitativa de arsénico, cadmio y plomo en maca (*L. meyenii*), obtuvo un promedio de 0.38 mg/kg en arsénico, 0.32 mg/kg en cadmio y 0.34 mg/kg en plomo; estos valores son superiores a los encontrados en nuestro estudio. Al igual que los resultados de la investigación los valores para cadmio y plomo superan los límites máximos tolerables en cultivos. Si bien el cultivo de *L.meyenii* es considerado un producto orgánico al no usar fertilizantes o pesticidas; pero por la demanda de este producto en los últimos años, se ha optado por el uso de abonos orgánicos, como el guano de islas, guano de oveja y el de gallinaza; el uso de estos abonos fue recomendado por el MINAGRI, así mismo se recomendó el uso de abono foliar con buena dotación de fosforo; por lo cual se podría explicar la presencia de estos metales en la maca. También es importante mencionar que la cercanía con el proyecto minero Shalipayco podría explicar la presencia de plomo, pero aún no se ha evaluado directamente. La presencia de metales pesados afectaría en el crecimiento de la planta, perjudicaría su venta y sería un indicador de contaminación de cultivos. Pero no se le podría atribuir directamente la presencia de metales pesados a una mina, sin antes poder medir la polución de esta. (Orihuela et al., 2019)

Zeeshan & Shehzadi (2019) en su estudio sobre el impacto del riego con aguas residuales en el suelo y el cultivo de rabanito, las concentraciones de plomo y cadmio estaban por encima de los niveles permitidos por la OMS. Las concentraciones más altas de plomo fueron de 1.0 mg/kg y para cadmio de 0.65mg/kg; mientras el nivel máximo de arsénico fue de 0.42 mg/kg, siendo el $Pb > Cd > As$; estos valores son mayores a los encontrados en *L.meyenii*, de igual manera en el estudio de Sánchez Pinzón et al.(2010) realizó el análisis de metales pesados en la especie *Lepidium virginicum*, especie con concentraciones de Pb en rango de 2.5 – 38.0 mg/kg y para Cd valores < 0.05 mg/kg; los valores son superiores a los encontrados en *L. meyenii* es considerable la diferencia visto que el área de estudio es un basurero, por el grado de contaminación con desechos de diferentes orígenes.

5.3.Bioconcentración de metales en *L. meyenii*

El factor de bioconcentración para arsénico, cadmio, plomo, zinc y hierro en *L. meyenii* de la variedad amarilla y morada se encuentra presente en la *Tabla 23*, tiene valores menores a uno (< 1), lo que no hace llegar a la conclusión de que no es una especie acumuladora. El BCF de los metales fue < 1 , dentro de los valores obtenidos los del Zn fueron altos, posiblemente por la disponibilidad en los suelos ácidos, el Zn y el Fe son elementos esenciales y por ende de fácil absorción (Guo et al., 2019), pero llegando a ser perjudiciales en concentraciones elevadas. Los elementos como e Cd, Pb y As obtuvieron valores bajos; podría deberse a los mecanismos de absorción, traslocación y acumulación relacionada a la biodisponibilidad. La capacidad de acumulación es carente; (Sánchez Pinzón et al., 2010) en su estudio de metales pesados en *Lepidium virginicum* obtuvo un

factor de bioconcentración de 1.09; siendo superior. Esta especie es usada en procesos de remediación.

Las plantas representan una forma natural de limpiar o reparar sitios contaminados, las especies que pertenecen a la familia Brassicaceae o Cruciferae tiene un papel importante en la fitorremediación. Muchas especies de la familia crucífera silvestre hiperacumulan metales pesados, ya que poseen resistencia o tolerancia a los efectos tóxicos de una amplia gama de metales.(Palmer *et al.*, 2001)

CONCLUSIONES

La concentración media en suelos agrícolas de la provincia de Junín presenta para arsénico $16.43 \pm 1.49 \text{mg/kg}$, cadmio $0.53 \pm 0.29 \text{mg/kg}$, plomo $43.86 \pm 17.68 \text{mg/kg}$, $91.31 \pm 29.58 \text{mg/kg}$ de zinc y por último para hierro $15448.40 \pm 1202.09 \text{mg/kg}$. En el distrito de Carhuamayo se encontró una concentración media de $17.25 \pm 2.38 \text{mg/kg}$ para arsénico, $0.71 \pm 0.12 \text{mg/kg}$ de cadmio, $60.79 \pm 11.92 \text{mg/kg}$ de plomo, $19096.80 \pm 956.99 \text{mg/kg}$ de hierro y $134.56 \pm 11.34 \text{mg/kg}$ de zinc; todos están por debajo de los límites máximos permitidos por Codex Stan 193-1995 y (Kabata-Pendias, 2010)

De los 5 metales pesados en estudio (As, Cd, Pb, Zn y Fe) en *L. meyenii* comparados con los límites máximos permisibles; solo dos de ellos se encuentran por encima del nivel máximo permisible, se trata del Cadmio y Plomo; elementos considerados peligrosos y altamente tóxicos.

La concentración de metales pesados (As, Cd, Pb, Zn y Fe) en los suelos de cultivo del distrito de Carhuamayo supera a los del distrito de Junín. De la misma manera ocurre con *L. meyenii* ya que la concentración de metales pesados es mayor en el distrito de Carhuamayo. Esta ligera diferencia en las concentraciones se debe a la presencia de

agentes externos, como el uso de abono y la cercanía con mineras en la etapa de exploración.

L. meyenii, no presenta un factor de bioconcentración mayor a uno (>1), por lo tanto, no es considerada una planta hiperacumuladora, pero el estudio fue realizado en áreas no muy contaminadas o alteradas.

RECOMENDACIONES

Con este precedente se busca incentivar a que se realicen más estudios relacionados al factor de bioconcentración de metales pesados en otras especies de plantas. Para de esta manera poder realizar comparaciones de su efectividad, asimismo agregar variables como la procedencia de los hipocótilos para realizar estudios comparativos.

Es importante conocer la inocuidad de los alimentos que consumimos, por ello se debería de establecer límites máximos permisibles de metales pesados en *L. meyenii* y otros productos alimenticios. También es necesario realizar estudios de otros metales pesados que no se mencionaron en la presente investigación como plata, cobre, níquel, etc.

Existen muy pocos estudios relacionados a la maca, se recomienda realizar estudios con un mayor número de muestras por lugar y el estudio de más variedades; para obtener resultados más representativos; así mismo realizar estudios de otros factores que influyen en que exista presencia de metales pesados en suelos de cultivo; como por ejemplo la dispersión de contaminantes de la minería en diferentes fuentes., ya sea suelo, agua o aire.

Es importante realizar estudios en diferentes matrices (agua, aire, suelo), para poder elaborar un informe fehaciente referente a la presencia de metales pesados; de esta manera mejorar la identificación y darle un adecuado control, con medidas preventivas.

Se recomienda realizar más estudios teniendo en cuenta también el uso de fertilizantes, y como estos influyen en la presencia de metales pesados en el hipocótilo de la maca; haciendo diferencias entre fertilizantes orgánicos e inorgánicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, H., & Khan, E. (2019). Trophic transfer, bioaccumulation, and biomagnification of non-essential hazardous heavy metals and metalloids in food chains/webs— Concepts and implications for wildlife and human health. In *Human and Ecological Risk Assessment* (Vol. 25, Issue 6, pp. 1353–1376). Taylor and Francis Inc. <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1469398>
- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2019). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>
- Aliaga, R. (2014). *RAICES ANDINAS Contribuciones al conocimiento y a la capacitación La maca*.
- Antoine, J. M. R., Fung, L. A. H., & Grant, C. N. (2017). Assessment of the potential health risks associated with the aluminium, arsenic, cadmium and lead content in selected fruits and vegetables grown in Jamaica. *Toxicology Reports*, 4, 181–187. <https://doi.org/10.1016/J.TOXREP.2017.03.006>
- Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). (1999). *Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health*. http://www.ccme.ca/publications/ceqg_rcqe.html?category_id=125
- Chambi, L. J., Cespedes, V. O., & Zurita, A. N. (2017). Evaluación de la presencia de metales pesados en suelos agrícolas y cultivos de tres microcuencas del municipio de Poopó-Bolivia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 4, 67–73. http://scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182017000100009

- Chibuikwe, G. U., & Obiora, S. C. (2014). Heavy Metal Polluted Soils: Effect on Plants and Bioremediation Methods. *Applied and Environmental Soil Science*. <https://doi.org/10.1155/2014/752708>
- China Food and Drug Administration. (2018). *National Food Safety Standard for Maximum Levels of Contaminants in Foods (GB 2762-2017)*. 1–17.
- Cotler, H., Sotelo, E., Dominguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., & Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. In *Gaceta Ecológica, ISSN-e 1405-2849, N.º. 83, 2007, págs. 5-71* (Issue 83). Instituto Nacional de Ecología. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2875596>
- Ćwieląg-Drabek, M., Piekut, A., Gut, K., & Grabowski, M. (2020). Risk of cadmium, lead and zinc exposure from consumption of vegetables produced in areas with mining and smelting past. *Scientific Reports 2020 10:1*, 10(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60386-8>
- DalCorso, G. (2012). *Heavy Metal Toxicity in Plants* (pp. 1–25). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4441-7_1
- Dalcorso, G., Manara, A., Piasentin, S., & Furini, A. (2014). Nutrient metal elements in plants. In *Metallomics* (Vol. 6, Issue 10, pp. 1770–1788). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/c4mt00173g>
- De la Peña, V. R. (2014). *Evaluación de la concentración de plomo y cadmio en suelo superficial de parques y plazas públicas, en tres municipios del área metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México*.
- Dziubanek, G., Baranowska, R., Ćwieląg-Drabek, M., Sychała, A., Piekut, A., Rusin, M., & Hajok, I. (2017). Cadmium in edible plants from Silesia, Poland, and its implications for health risk in populations. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 142, 8–13. <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2017.03.048>
- Enciso, R. K. (2017). Biología reproductiva de cuatro grupos fenotípicos de maca (*Lepidium meyenii* Walpers). In *Universidad Nacional Agraria La Molina*. Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2920>
- Energiminas. (2019, May 8). *Nexa sobre Shalipayco: “Proyecto con potencial*

polimetálico subterráneo” . <https://energiminas.com/nexa-sobre-shalipayco-proyecto-con-potencial-polimetálico-subterráneo/>

- Espinoza, J., & Quispe, Y. (2016). Determinación cuantitativa de arsénico, cadmio y plomo en maca (*lepidium meyenii*) expendida en el mercado 10 de octubre durante el período de junio – octubre 2016. *Universidad Privada Norbert Wiener*. <http://repositorio.uwiener.edu.pe/handle/123456789/715>
- Fasani, E. (2012). *Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals* (pp. 55–74). https://doi.org/10.1007/978-94-007-4441-7_3
- Ferrer, A. (2003). Intoxicación por metales. In *Anales del Sistema Sanitario de Navarra* (Vol. 26, Issue SUPPL. 1, pp. 141–153). <https://doi.org/10.4321/s1137-66272003000200008>
- G.A. Boamponsem, M. Kumi, I. D. (2012). Heavy Metals Accumulation in Cabbage, Lettuce and Carrot Irrigated with Wastewater from Nagodi Mining Site in Ghana. *International Journal of Scientific and Technology Research.*, 1(11), 124–129. www.ijstr.org
- García, C., Moreno, J., Hernández, M., & Polo, A. (2002). Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo. *Ciencia y Medio Ambiente- CCMA-CSIC*, 125–138. <https://digital.csic.es/handle/10261/111812>
- García, M. M., & Madueño, F. M. (2019). Determinación de metales pesados (Plomo y Cadmio) en lechuga (*Lactuca sativa*) de mercados de Lima Metropolitana. *Ciencia e Investigación*, 21(2), 19–23. <https://doi.org/10.15381/ci.v21i2.15852>
- Gebeyehu, H. R., & Bayissa, L. D. (2020). Levels of heavy metals in soil and vegetables and associated health risks in Mojo area, Ethiopia. *PLOS ONE*, 15(1), e0227883. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0227883>
- Gonzales, G. F., Gonzales, C., & Gonzales-Castañeda, C. (2009). *Lepidium meyenii* (Maca): A plant from the highlands of peru - From tradition to science. In *Forschende Komplementarmedizin* (Vol. 16, Issue 6, pp. 373–380). *Forsch Komplementmed*. <https://doi.org/10.1159/000264618>
- Guo, G., Zhang, D., & Wang, Y. (2019). Probabilistic Human Health Risk Assessment of Heavy Metal Intake via Vegetable Consumption around Pb/Zn Smelters in

- Southwest China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2019, Vol. 16, Page 3267, 16(18), 3267. <https://doi.org/10.3390/IJERPH16183267>
- Kabata-Pendias, A. (2010). Trace elements in soils and plants: Fourth edition. In *Trace Elements in Soils and Plants, Fourth Edition*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b10158>
- Kabata-Pendias, A., & Mukherjee, A. B. (2007). Trace elements from soil to human. In *Trace Elements from Soil to Human*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-32714-1>
- Lizarazo, M. F., Herrera, C. D., Celis, C. A., Pombo, L. M., Teherán, A. A., Piñeros, L. G., Forero, S. P., Velandia, J. R., Díaz, F. E., Andrade, W. A., & Rodríguez, O. E. (2020). Contamination of staple crops by heavy metals in Sibaté, Colombia. *Heliyon*, 6(7).<https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2020.E04212/ATTACHMENT/642C31C7-C659-4179-8697-1F3264E4D6D2/FX3>
- Lozada J, 2016. (2014). Investigación Aplicada : Definición , Propiedad Intelectual e Industria. *Cienciaamérica*, 1(3), 34–39. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749&info=resumen&idioma=ENG>
- Machado, R. V. (2001). "*Caracterización física-química de 4 ecotipos de Maca (Lepidium meyenii Walp.)*. Procesos de liofilización, atomización y pre-gelatinización en el ecotipo seleccionado.
- Medina-Pizzali, M. L., Robles, P., Mendoza, M., & Torres, C. (2018). Arsenic intake: Impact in human nutrition and health. In *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública* (Vol. 35, Issue 1, pp. 93–102). <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.351.3604>
- MINAM. (2014). Guía para muestreo de suelos. *Ministerio Del Ambiente*, 38. http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf
- MINAM. (2017). Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo. In *Normas legales* (pp. 12–15). [https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-](https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-68)

calidad-ambiental-eca-suelo-0

- MINAM, & SERNANP. (2008). *Plan Maestro Reserva Nacional de Junín 2008 - 2012* (Vol. 1).
https://old.sernanp.gob.pe/sernanp/archivos/biblioteca/publicaciones/RN_Junin/PlanMaestro2008-2012-RNJunin.pdf
- MINSA. (2009). Tablas Peruanas de Composición de Alimentos. In *Perú*.
- Musilova, J., Bystricka, J., Lachman, J., Harangozo, L., Trebichalsky, P., & Volnova, B. (2016). Potatoes – A crop resistant against input of heavy metals from the metallicaly contaminated soil. *International Journal of Phytoremediation*, 18(6), 547–552.
<https://doi.org/10.1080/15226514.2015.1086303>
- Navarro, J. P., Aguilar, I., & López, J. R. (2007). *Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas*.
<http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=488>
- Obregón, L. E. (1999). Maca. Planta medicinal y nutritiva del Perú. In *Dialnet*.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4989281>
- Oliva, M., Camas, D. E., Valqui, X. J., Meléndez, J. B., & Leiva, S. (2019). Quantitative Determination of Cadmium (Cd) in Soil-Plant System in Potato Cropping (*Solanum tuberosum* var. Huayro). *Advances in Agriculture*, 2019, 1–4.
<https://doi.org/10.1155/2019/9862543>
- Orihuela, J. C., Hinojosa, L., Huaroto, C., & Pérez, C. A. (2019). Los costos de la contaminación minera: género, bienestar e instituciones. In *Consejo de investigación económica y social - CIES* (Vol. 3).
- Palmer, C. E., Warwick, S., & Keller, W. (2001). Brassicaceae (Cruciferae) Family, Plant Biotechnology, and Phytoremediation. *International Journal of Phytoremediation*, 3(3), 245–287. <https://doi.org/10.1080/15226510108500059>
- Perú Biodiverso. (2011). *Análisis Físico-Químico y de Minerales de la maca seca proveniente de la Meseta del Bombóm y Huancayo-Huancavelica y secadas en la Meseta de Bombóm y en Huancayo-Huancavelica*.
<https://repositorio.promperu.gob.pe/handle/123456789/1054>
- Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana, C., & Campos, A. (2006). Contaminación por

- metales pesados en suelo provocada por la industria minera. *Ecología Aplicada*, 5(1–2), 149. <https://doi.org/10.21704/rea.v5i1-2.329>
- Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O. E., Díaz, M., & González, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en Salud, Ambiente y Seguridad Alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2). <https://doi.org/10.19053/1900771x.v16.n2.2016.5447>
- Sánchez Pinzón, M. S., Cogollo Pacheco, Á., Arroyave Quiceno, C., Torrenegra Guerrero, R. D., Giraldo Mejía, Á. M., & Barahona Rosales, R. (2010). Botanical Diversity and Heavy Metal Content in the Residue Matrix and Plants at the Moravia Dump in Medellín, Colombia. In *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín* (Vol. 63, Issue 1).
- Sarabia, I. F., Cisneros, R., Aces de Alba, J., Durán, H. M., & Castro, J. (2011). *Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del Valle de San Luis Potosí, México*. SciELO. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992011000200002
- Silva Arroyave, S. M., & Correa Restrepo, F. J. (2009). Análisis de la Contaminación del Suelo: Revisión de la Normativa y Posibilidades de la Regulación Económica. *Semestre Económico*, 13–34.
- Son, N. H., Huong, B. T. L., & Ka, T. T. (2015). Research on heavy metal accumulation of Cu, Pb, Cd and Zn of the carrot. *International Journal of Agricultural Technology*, 11(5), 1119–1127. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20153272877>
- Stasinou, S., Nasopoulou, C., Tsirikika, C., & Zabetakis, I. (2014). The Bioaccumulation and Physiological Effects of Heavy Metals in Carrots, Onions, and Potatoes and Dietary Implications for Cr and Ni: A Review. *Journal of Food Science*, 79(5), R765–R780. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12433>
- Torres Saavedra, A. M. (2018). Factor de bioconcentración y traslocación de especies altoandinas para suelos contaminados con metales pesados provenientes de la planta concentradora de MESAPATA, en condiciones de invernadero, 2015 - 2016. *Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo*, 164. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2110>
- Valdivia, H. B., & Almanza, G. (2013). Evaluación del contenido de minerales de

- Lepidium meyenii, maca natural boliviana. In *Bolivian Journal of Chemistry* (Vol. 30, Issue 1).
- Vargas, R. (2009). *Guía para la descripción de suelos*.
- Vincevica-Gaile, Z., Klavins, M., Rudovica, V., & Viksna, A. (2013). Research review trends of food analysis in Latvia: major and trace element content. In *Environmental Geochemistry and Health* (Vol. 35, Issue 5, pp. 693–703). <https://doi.org/10.1007/s10653-013-9549-4>
- Zeeshan, M., & Shehzadi, S. (2019). Impact of Sewage Water Irrigation on Soil and Radish (*Raphanus sativus* L.) with Respect to Heavy Metals in Tarlai, Islamabad. *Undefined*.
- Zukowska, J., & Biziuk, M. (2008). Methodological evaluation of method for dietary heavy metal intake. In *Journal of Food Science* (Vol. 73, Issue 2, pp. R21–R29). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00648.x>

ANEXOS

ANEXO 01: Panel Fotográfico

Figura 13

Cultivo de maca en el distrito de Junín.



Figura 14

Cultivo de maca en el distrito de Carhuamayo - Shalipayco.



Figura 15

Maca variedad amarilla y morada.



Figura 16

Mezcla de suelo, y extracción de muestra mediante método de cuarteo. – distrito de Carhuamayo.



Figura 17

Muestra de suelo en bolsa ziploc – hermética.



Figura 18

Recolección de muestra mediante método de cuarteo. – Distrito de Junín (Uco).

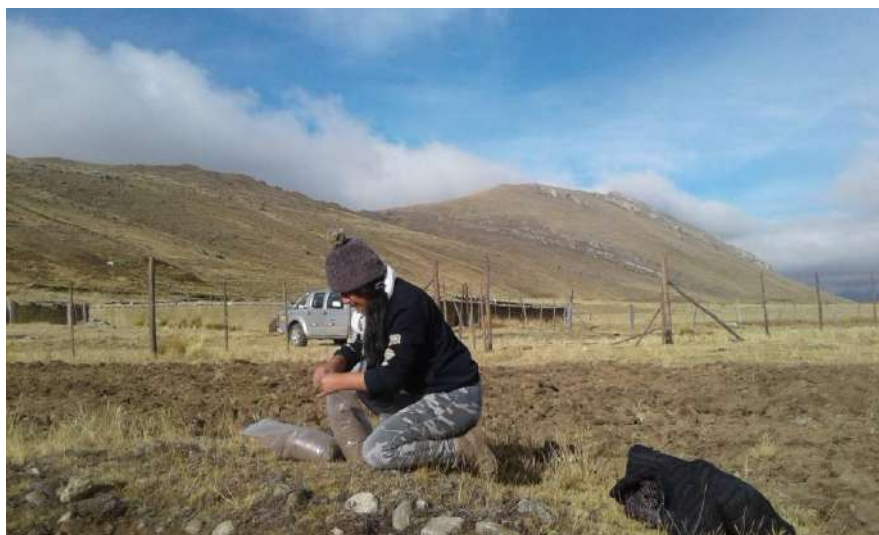


Figura 19

Muestra de Maca variedad morada



Figura 20

Muestra de maca variedad amarilla



Figura 21

Muestras de las dos variedades de maca con sus respectivas etiquetas.



Figura 22

Muestras de suelo con sus respectivas etiquetas.



Figura 23

Secado de muestras de suelo



Figura 24

Proceso de cernir la muestra de suelo.



Figura 25

Muestras colocadas en la campana de secado.



Figura 26

Espectrofotómetro de Absorción Atómica Varian AA240.



Figura 27

Molino Pulverizador Pulverisette 2



Figura 28

Muestras molidas de maca Junín y Carhuamayo.

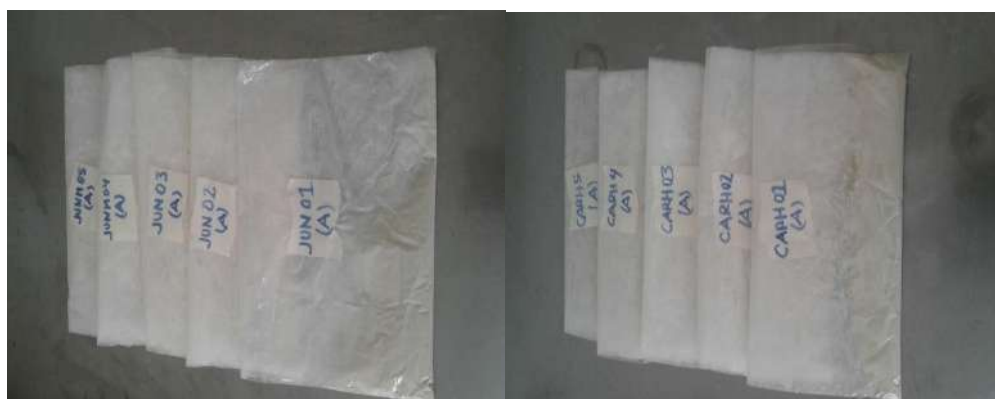


Figura 29

Pesado de muestra de maca y suelo en la balanza de precisión.



Figura 30

Ataque químico de las muestras de maca variedad amarilla y morada de los dos distritos.



Figura 31

Filtrado de las muestras después del proceso de digestión química y dilución.



Figura 32

Proceso de filtración de muestras.



Figura 33

Muestras de macas y suelo ya filtradas y listas para la lectura en el Espectrofotómetro.



Figura 34

Lectura de muestras en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica Varían AA240.



ANEXO 02

Resultados del test de homogeneidad de varianza (Test de Levene) de la concentración de metales pesados en suelo agrícola.

Metal	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Arsénico(mg/kg)	2.660	1	8	0.142
Cadmio(mg/kg)	2.018	1	8	0.193
Plomo(mg/kg)	1.844	1	8	0.212
Zinc(mg/kg)	3.493	1	8	0.099
Hierro(mg/kg)	0.136	1	8	0.722

Resultados del test de homogeneidad de varianza (Test de Levene) de la concentración de metales pesados en *L. meyenii*.

Metal	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Arsénico(mg/kg)	2.237	1	18	0.152
Cadmio(mg/kg)	2.842	1	18	0.109
Plomo(mg/kg)	0.150	1	18	0.703
Zinc(mg/kg)	0.588	1	18	0.453
Hierro(mg/kg)	0.693	1	18	0.416

ANEXO 03**Resultados de los estadísticos descriptivas para suelos agrícolas del distrito de Junín y Carhuamayo.**

Metal	Distrito	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	Mínimo	Máximo
Arsénico (mg/kg)	Junín	5	16.432	1.491	0.667	14.870	18.546
	Carhuamayo	5	17.253	2.383	1.066	14.650	20.250
	Total	10	16.843	1.923	0.608	14.650	20.250
Cadmio (mg/kg)	Junín	5	0.532	0.298	0.133	0.289	1.030
	Carhuamayo	5	0.711	0.116	0.052	0.598	0.905
	Total	10	0.622	0.233	0.074	0.289	1.030
Plomo (mg/kg)	Junín	5	43.862	17.684	7.908	23.410	62.930
	Carhuamayo	5	60.790	11.924	5.333	47.810	75.670
	Total	10	52.326	16.786	5.308	23.410	75.670
Zinc (mg/kg)	Junín	5	91.306	29.519	13.201	59.210	132.910
	Carhuamayo	5	134.560	11.339	5.071	120.770	145.760
	Total	10	112.933	31.050	9.819	59.210	145.760
Hierro (mg/kg)	Junín	5	15448.400	1205.093	538.934	14395.000	17362.000
	Carhuamayo	5	19096.800	956.988	427.978	17863.000	20175.000
	Total	10	17272.600	2179.433	689.197	14395.000	20175.000

Resultados de los estadísticos descriptivas para *L. meyenii* por variedades del distrito de Junín y Carhuamayo.

Metal	Variedad	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	Mínimo	Máximo
Arsénico (mg/kg)	Amarillo	10	0.125	0.036	0.011	0.090	0.194
	Morada	10	0.173	0.054	0.017	0.098	0.270
	Total	20	0.149	0.051	0.011	0.090	0.270
Cadmio (mg/kg)	Amarillo	10	0.189	0.049	0.015	0.134	0.277
	Morada	10	0.128	0.069	0.022	0.053	0.232
	Total	20	0.158	0.066	0.015	0.053	0.277
Plomo (mg/kg)	Amarillo	10	0.157	0.069	0.022	0.064	0.263
	Morada	10	0.123	0.064	0.020	0.034	0.221
	Total	20	0.140	0.067	0.015	0.034	0.263
Zinc (mg/kg)	Amarillo	10	33.402	4.311	1.363	25.900	38.052
	Morada	10	32.026	4.203	1.329	22.400	38.660

	Total	20	32.714	4.204	0.940	22.400	38.660
Hierro (mg/kg)	Amarillo	10	4.603	0.682	0.216	3.526	5.532
	Morada	10	5.250	0.552	0.175	4.280	5.975
	Total	20	4.927	0.689	0.154	3.526	5.975

ANEXO 04

Resultados de la prueba de normalidad (Shapiro - Wilk) para la concentración de metales pesados en suelo agrícola en los distritos de Junín y Carhuamayo.

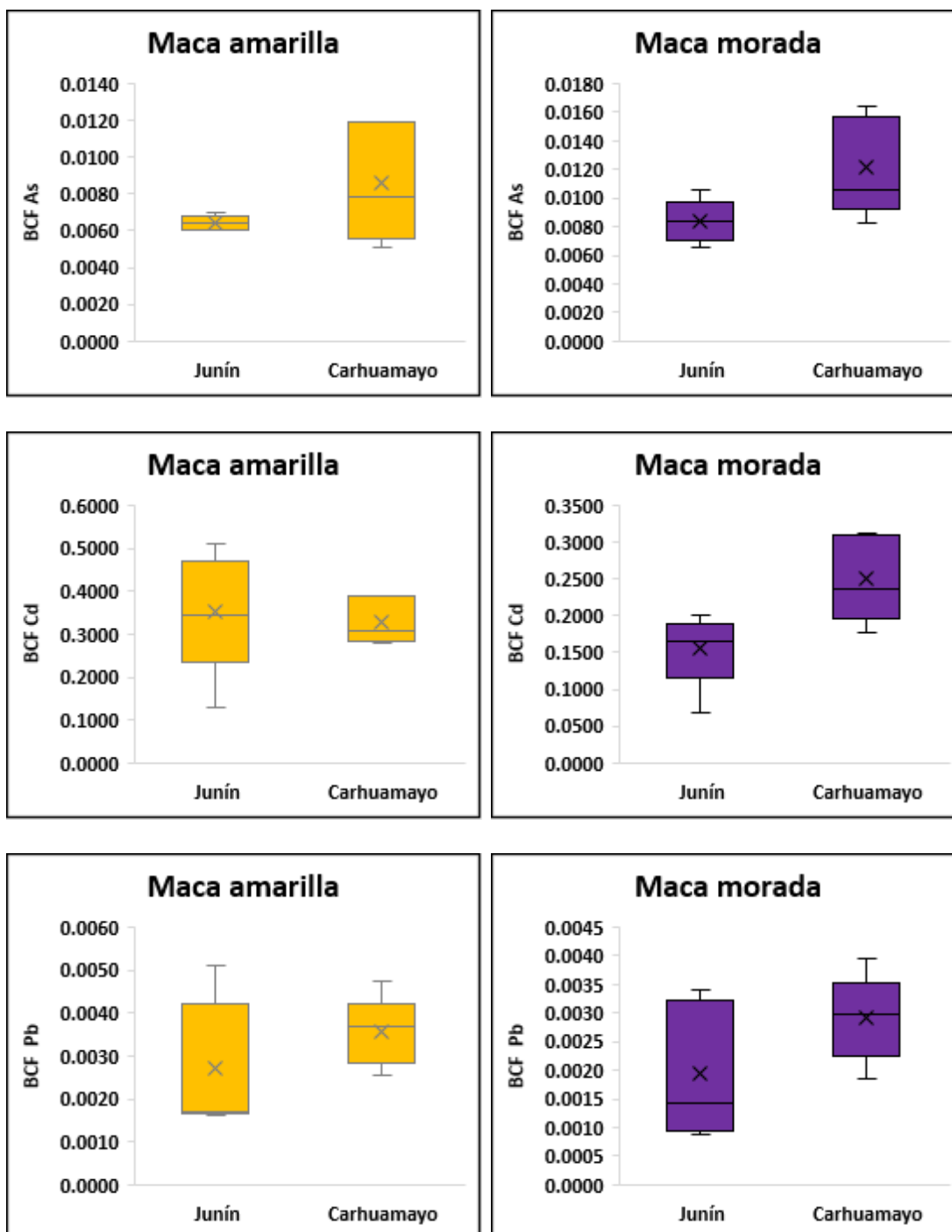
Metal	Distrito	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Arsénico (mg/kg)	Junín	0.917	5	0.509
	Carhuamayo	0.921	5	0.534
Cadmio (mg/kg)	Junín	0.845	5	0.179
	Carhuamayo	0.867	5	0.253
Plomo (mg/kg)	Junín	0.888	5	0.348
	Carhuamayo	0.887	5	0.344
Zinc (mg/kg)	Junín	0.943	5	0.688
	Carhuamayo	0.885	5	0.331
Hierro (mg/kg)	Junín	0.891	5	0.360
	Carhuamayo	0.957	5	0.790

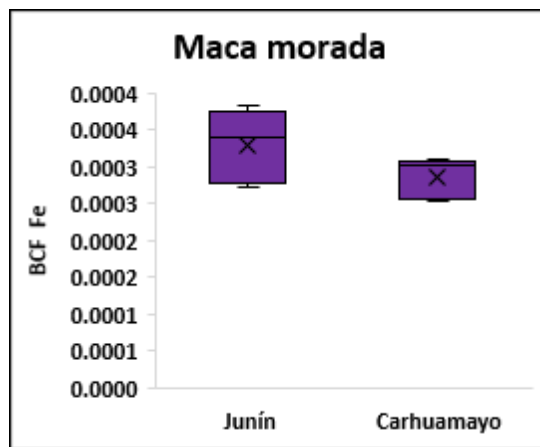
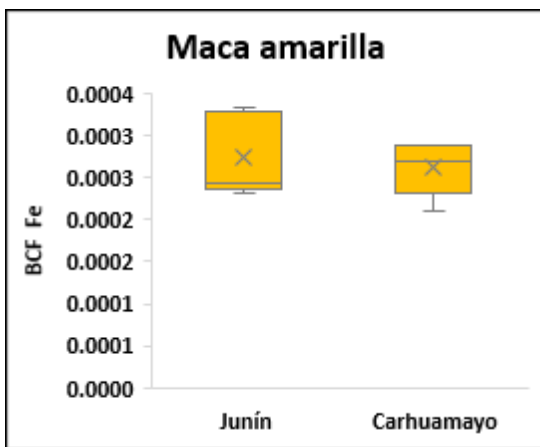
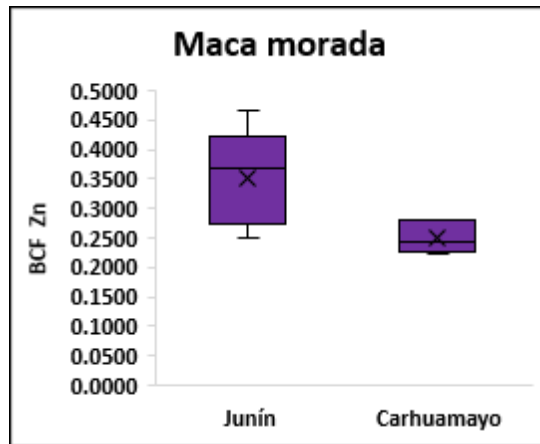
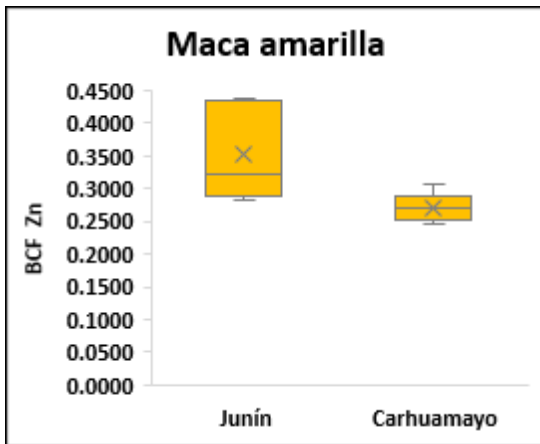
Resultados de la prueba de normalidad (Shapiro - Wilk) para la concentración de metales pesados en *L. meyenii* según variedades en los distritos de Junín y Carhuamayo.

Metal	Variedad	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Arsénico (mg/kg)	Amarillo	0.850	10	0.058
	Morada	0.966	10	0.854
Cadmio (mg/kg)	Amarillo	0.886	10	0.153
	Morada	0.880	10	0.131
Plomo (mg/kg)	Amarillo	0.903	10	0.235
	Morada	0.923	10	0.384
Zinc (mg/kg)	Amarillo	0.904	10	0.243
	Morada	0.902	10	0.229
Hierro (mg/kg)	Amarillo	0.951	10	0.682
	Morada	0.959	10	0.771

ANEXO 05

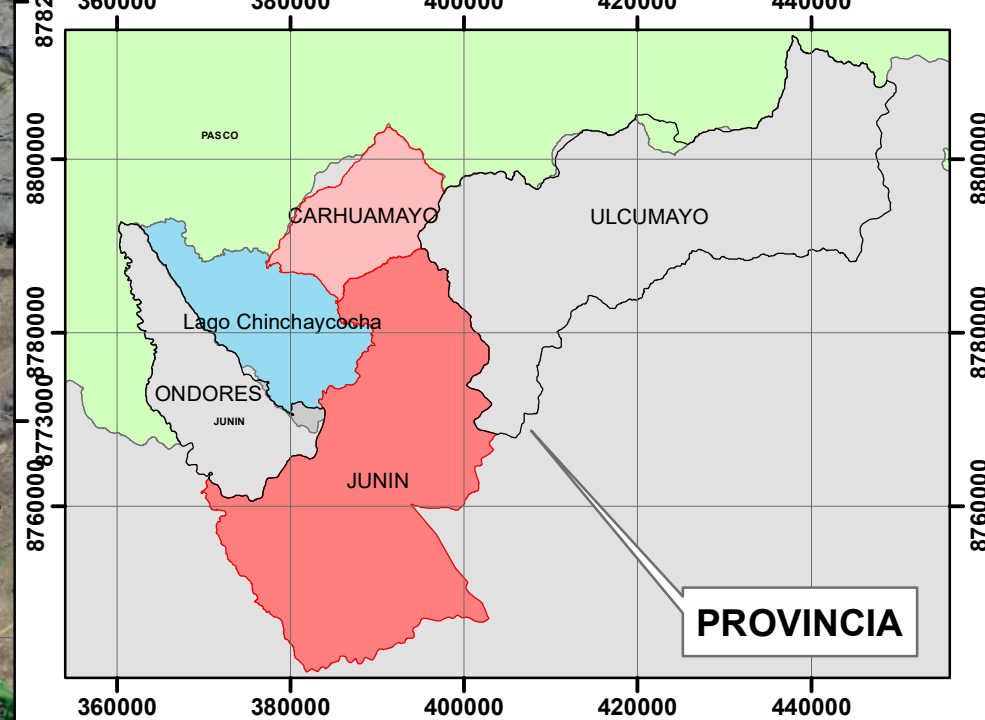
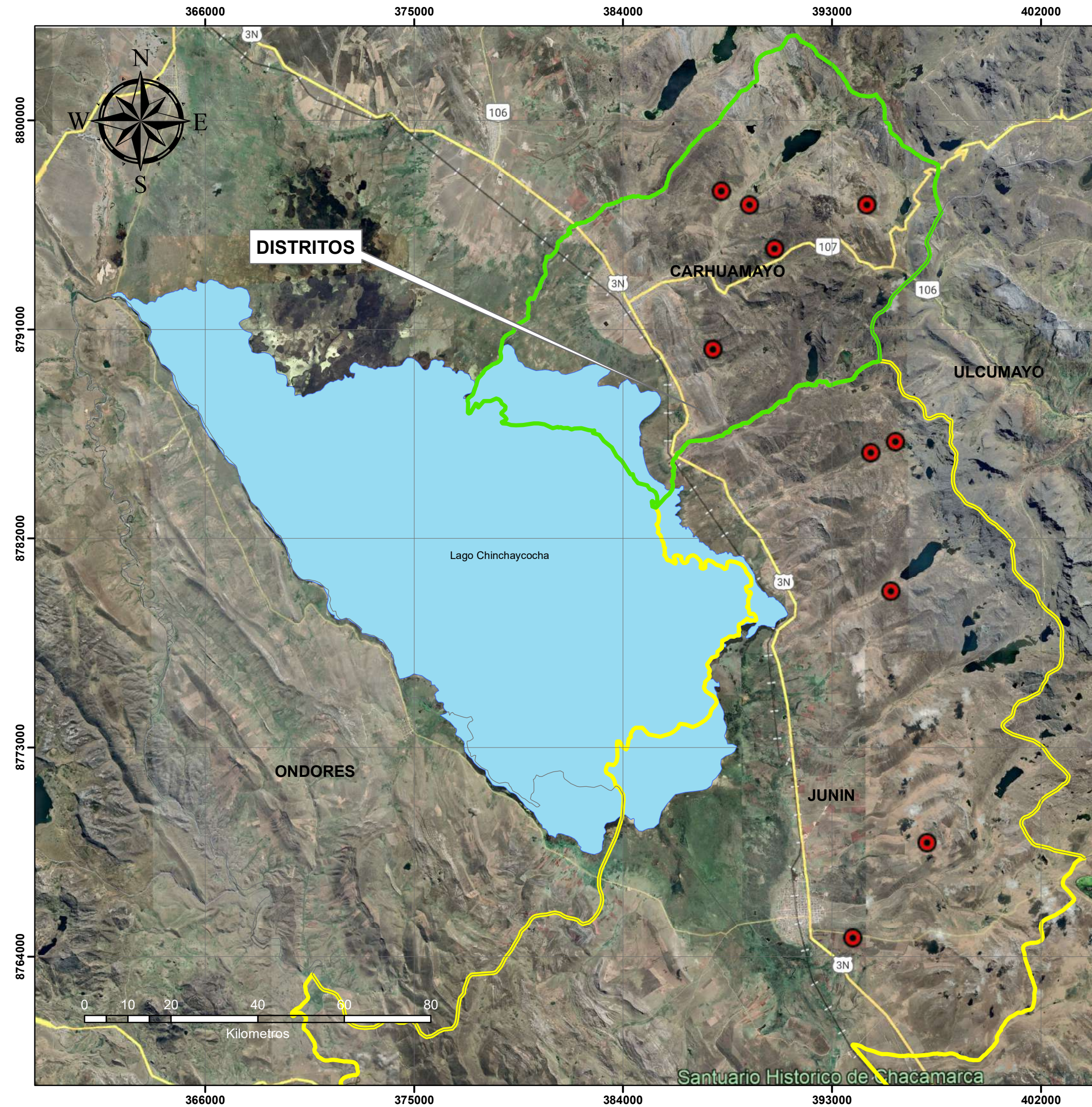
Factor de bioconcentración (BFC) de metales pesados en dos variedades de *L. meyenii* en dos distritos de la provincia de Junín, Perú.



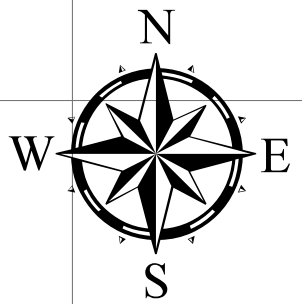


ANEXO 06

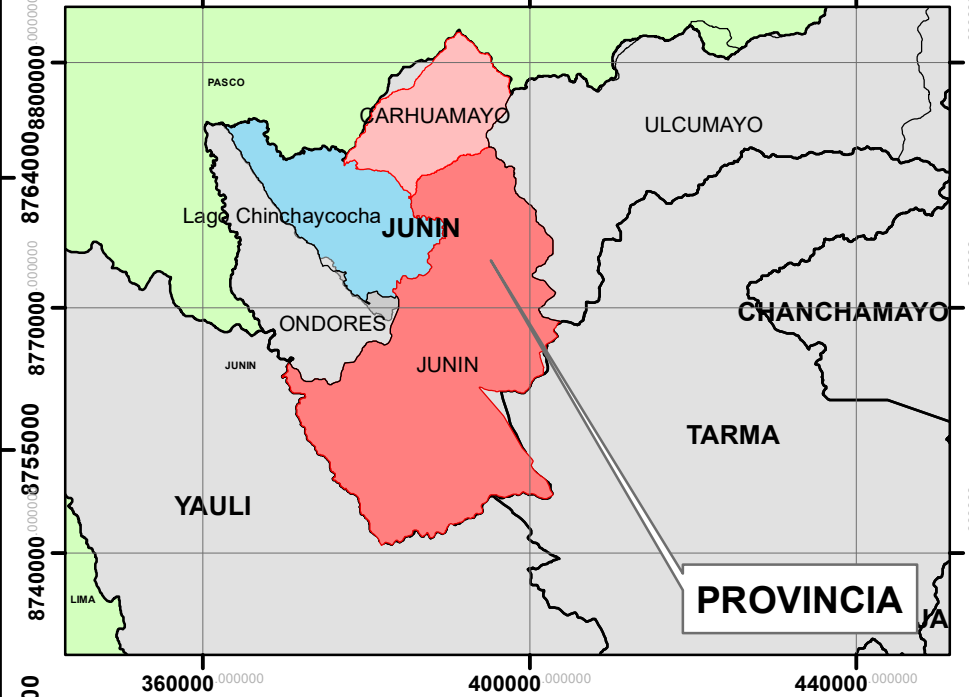
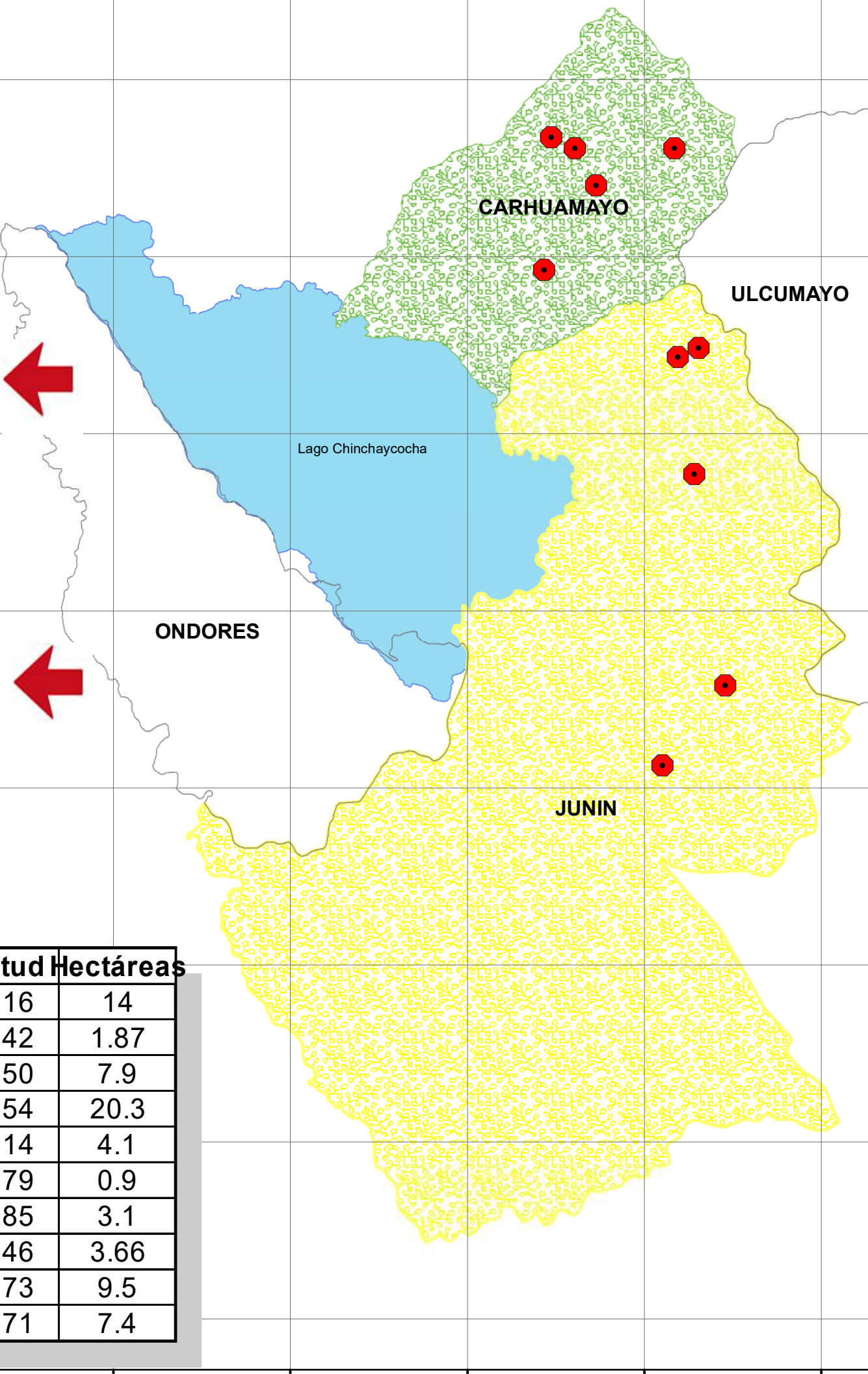
Mapa de ubicación y puntos de muestreo



PROYECTO: "CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN SUELOS AGRÍCOLAS Y <i>Lepidium meyenii</i> Walpers - JUNÍN Y CARHUAMAYO"			
TÍTULO: Ubicación del Área de estudio	DEPARTAMENTO: Junín	PROVINCIA: Junín	
SUPERFICIE: 281484.18 km ²	PERÍMETRO: 391.45 km	FECHA: 11-06-19	N° de Lámina
FUENTE: DATUM WGS - 84 PROYECCION UTM - ZONA 18 S ESCALA 1:220 000			01
CARTAS FOTOGRAFICAS A ESCALA 1:25 000, INFORMACION CARTOGRAFICA DEL IGN (CARTA NACIONAL ESCALA 1/100 000)			



Distrito	Este	Oeste	Altitud	Hectáreas
Carhuamayo	388266	8797081	4416	14
	389476	8796495	4342	1.87
	394535	8796489	4450	7.9
	390557	8794624	4454	20.3
	387898	8790325	4414	4.1
Junín	395759	8786356	4279	0.9
	394696	8785892	4285	3.1
	395557	8779953	4246	3.66
	397111	8769201	4473	9.5
	393908	8765135	4271	7.4



PROYECTO: "RECUPERACION DE LOS SERVICIOS ECOSISTEMICOS EN 6 UNIDADES PRODUCTORAS DE 6 PROVINCIAS DEL DEPARTAMENTO DE JUNIN"

TITULO: Ubicación de puntos de muestreo	DEPARTAMENTO: Junín	PROVINCIA: Junín
SUPERFICIE: 281484.18 km ²	PERÍMETRO: 391.45 km	FECHA: 16-08-24
FUENTE: DATUM WGS - 84 PROYECCION UTM - ZONA 18 S ESCALA 1:160 000		
CARTAS FOTOGRAFICAS A ESCALA 1:25 000, INFORMACION CARTOGRAFICA DEL IGN (CARTA NACIONAL ESCALA 1/100 000)		

02