



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**  
**Y FORESTAL**



**“FACTOR DE BIOACUMULACIÓN Y TRASLOCACIÓN DE  
CADMIO EN *Lupinus mutabilis* Y *Vicia faba* EN ÁREA  
CONTAMINADA DEL SECTOR PALLCAPAMPA, DISTRITO DE  
HUANCANÉ”**

**Bach. Jhan Carlos Mamani Larico**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

**Línea de investigación  
Gestión del recurso suelo**

**Asesora:**

**M.Sc. Eliana Mullisaca Contreras**

**Juliaca, 2023**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
Y FORESTAL



“FACTOR DE BIOACUMULACIÓN Y TRASLOCACIÓN DE  
CADMIO EN *Lupinus mutabilis* Y *Vicia faba* EN ÁREA  
CONTAMINADA DEL SECTOR PALLCAPAMPA, DISTRITO DE  
HUANCANÉ”

Bach. Jhan Carlos Mamani Larico

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Línea de investigación  
Gestión del recurso suelo

Asesora:  
M.Sc. Eliana Mullisaca Contreras

Juliaca, 2023

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**  
**Y FORESTAL**



**“FACTOR DE BIOACUMULACIÓN Y TRASLOCACIÓN DE  
CADMIO EN *Lupinus mutabilis* Y *Vicia faba* EN ÁREA  
CONTAMINADA DEL SECTOR PALLCAPAMPA, DISTRITO DE  
HUANCANÉ”**

**Bach. Jhan Carlos Mamani Larico**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Línea de Investigación

**Gestión del recurso suelo**

Asesora:

**M.Sc. Eliana Mullisaca Contreras**

Juliaca, 2023

### Ficha Catalográfica

*Mamani, J. C. (2023). Factor de Bioacumulación y Traslocación de Cadmio en Lupinus mutabilis y Vicia faba en Área Contaminada del Sector Pallcapampa, Distrito de Huancané. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca*

**AUTOR:** Jhan Carlos Mamani Larico

**TÍTULO:** Factor de Bioacumulación y Traslocación de Cadmio en *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* en Área Contaminada del Sector Pallcapampa, Distrito de Huancané.

**PUBLICACIÓN:** Juliaca, 2023.

**DESCRIPCIÓN:** Cantidad de páginas (100 pp).

**NOTA:** Tesis (Ingeniería Ambiental y Forestal) – Universidad Nacional de Juliaca Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal

**CÓDIGO:** 01-000027-01/M22

**NOTA:** Incluye bibliografía

**ASESOR:** M.Sc. Eliana Mullisaca Contreras

**PALABRAS CLAVE:** Bioacumulación, cadmio, fitorremediación, *Lupinus mutabilis*, traslocación, *Vicia faba*.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL**

**“FACTOR DE BIOACUMULACIÓN Y TRASLOCACIÓN DE  
CADMIO EN *Lupinus mutabilis* Y *Vicia faba* EN ÁREA  
CONTAMINADA DEL SECTOR PALLCAPAMPA,  
DISTRITO DE HUANCANÉ”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO  
AMBIENTAL Y FORESTAL**

**Presentada por:**

**Jhan Carlos Mamani Larico**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

**M.Sc. Hugo Apaza Aquino**

**PRESIDENTE DEL JURADO**

**M.Sc. Jael Calla Calla**

**JURADO (Secretario)**

**M.Sc. Yesica Magnolia Mamani Arpasi**

**JURADO (Vocal)**



**2° MIEMBRO**



**3° MIEMBRO**



**ASESOR**

**M.Sc. Eliana Mullisaca Contreras**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación va dedicado a mis padres y hermanos, por todo el apoyo brindado estos años, por haberme enseñado siempre a seguir adelante frente a las adversidades de la vida y a nunca rendirme, siempre apoyándome incondicionalmente en todo momento.

Lo dedico también a mis amigos y amigas por haber compartido momentos inolvidables, conocimientos y experiencias, que me servirán de mucho en el desarrollo profesional.

A todas las personas que me han apoyado, permitiendo que mi trabajo se desarrolle exitosamente, especialmente aquellos que compartieron sus ideas conmigo.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco primeramente a Dios, por darme siempre un día nuevo y estar siempre conmigo en los momentos más difíciles.

Agradezco también a mis padres Juan y Martina, hermanos Roger Rene y Javier Beltran por el apoyo y motivación que me brindan día a día por confiar y creer en mis expectativas.

Agradezco de manera muy especial; a la M.Sc. Eliana Mullisaca Contreras por ser mi asesora de mi trabajo de estudio y a los jurados, quienes me han orientado y guiado con sus saberes durante la investigación.

Agradezco además al Ing. David Mamani Ccapasonco, amigos que estuvieron en los buenos y malos momentos de mi vida.

## INDICE GENERAL

RESUMEN.....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	16
CAPÍTULO I.....	17
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.1. Descripción del problema.....	17
1.2. Preguntas de la investigación.....	18
1.2.1. Pregunta general .....	18
1.2.2. Preguntas específicas.....	18
1.3. Objetivos de la investigación.....	18
1.3.1. Objetivo general .....	18
1.3.2. Objetivos específicos.....	19
1.4. Justificación .....	19
CAPÍTULO II.....	20
REVISIÓN DE LITERATURA .....	20
2.1. Antecedentes de la investigación.....	20
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	20
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	22
2.1.3. Antecedente regional y local .....	25
2.2. Marco teórico .....	26
2.2.1. Enmiendas .....	26
2.2.2. Enmiendas orgánicas .....	26
2.2.3. Enmiendas químicas .....	27
2.2.4. Composición química de la enmienda.....	27
2.2.5. Enmiendas contaminadas con cadmio.....	27
2.2.6. Cadmio y fertilizantes fosfatados en el suelo .....	27
2.2.7. Roca fosfórica.....	28

2.2.8.	Metales pesados .....	28
2.2.9.	Cadmio .....	28
2.2.10.	Toxicología del cadmio .....	28
2.2.11.	Toxicodinamica del cadmio .....	29
2.2.12.	Remediación del suelo con cadmio .....	29
2.2.13.	La Biorremediación .....	29
2.2.14.	Fitorremediación.....	29
2.2.15.	Mecanismos de fitorremediación.....	30
2.2.16.	Factores de concentración .....	32
2.2.17.	<i>Lupinus mutabilis</i> .....	33
2.2.18.	<i>Vicia faba</i> .....	34
CAPÍTULO III .....		36
MATERIALES Y MÉTODOS.....		36
3.1.	Ámbito de estudio .....	36
3.2.	Población y muestra.....	36
3.3.	Materiales y reactivos .....	36
3.3.1.	Materiales y equipos.....	36
3.3.2.	Reactivos .....	37
3.4.	Metodología por objetivos .....	37
3.4.1.	Determinación de la concentración de cadmio en áreas contaminadas en el sector Pallcapampa, distrito de Huancané .....	37
3.4.2.	Determinación de la concentración de cadmio en las especies <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> en ambiente controlado en el sector Pallcapampa, distrito de Huancané. ....	39
3.4.3.	Determinación del factor de bioacumulación y traslocación de <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> en raíz, tallo y hojas en el sector Pallcapampa, distrito de Huancané .....	40
3.5.	Hipótesis de la investigación .....	41

3.5.1.	Hipótesis general .....	41
3.5.2.	Hipótesis específicos .....	42
3.6.	Técnicas estadísticas para el procesamiento y análisis de los datos .....	42
3.6.1.	Comparación de parejas de medias de tratamientos.....	44
3.6.2.	Prueba de hipótesis con la distribución t de student para la media poblacional .....	44
CAPÍTULO IV .....		45
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		45
4.1.	Concentración de cadmio en muestras de suelos del sector Pallcapampa distrito de Huancané.....	45
4.2.	Concentración de cadmio en las especies <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> en ambiente controlado en raíz, tallo y hojas.....	47
4.3.	Factor de bioacumulación y traslocación de cadmio en las especies <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> .....	61
CAPÍTULO V .....		71
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		71
5.1.	Conclusiones .....	71
5.2.	Recomendaciones .....	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		73
ANEXOS.....		83

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Concentración de Cd (mg/kg) adicionado al suelo a través de diferente fuente ....	27
Tabla 2 Cálculo de Fc a través del Análisis de Varianza .....	43
Tabla 3 Concentración de cadmio (Cd en mg/kg) en suelos provenientes del sector Pallcapampa, Distrito y Provincia de Huancané en la región Puno, 2021, comparación con el ECA Suelo agrícolas – D.S. 011 – 2017 MINAM) .....	45
Tabla 4 Prueba de hipótesis del promedio en muestras de suelo .....	46
Tabla 5 Concentración de cadmio (ppm) en <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> en ambiente controlado en raíz .....	47
Tabla 6 Tabla ANOVA en <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> en ambiente controlado para raíz .....	48
Tabla 7 Tabla descripción bloque tratamiento en <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> en ambiente controlado para raíz .....	49
Tabla 8 Tabla prueba de tukey en <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> en ambiente controlado para raíz en tratamientos.....	50
Tabla 9 Concentración de cadmio (ppm) en <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> en ambiente controlado en tallo .....	51
Tabla 10 Tabla ANOVA en <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> en ambiente controlado para tallos .....	53
Tabla 11 Tabla descripción bloque tratamiento en <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> en ambiente controlado para tallos.....	54
Tabla 12 Tabla prueba de tukey en <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> en ambiente controlado para tallos en tratamientos .....	54
Tabla 13 Concentración de cadmio (ppm) en <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> en ambiente controlado en hojas.....	56
Tabla 14 Tabla ANOVA en <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> en ambiente controlado para hojas.....	58

Tabla 15 Tabla descripción bloque tratamiento en <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> en ambiente controlado para hojas .....	59
Tabla 16 Tabla prueba de tukey en <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> en ambiente controlado para hojas en tratamientos .....	59
Tabla 17 Factor de Bioacumulación parte aérea en <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> .....	61
Tabla 18 Tabla ANOVA de factor de bioacumulación en la parte aérea en <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> .....	62
Tabla 19 Tabla descripción bloque tratamiento de bioacumulación en la parte aérea en <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> .....	62
Tabla 20 Tabla prueba de tukey de bioacumulación en la parte aérea en <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> por tratamientos .....	63
Tabla 21 Factor de Bioacumulación de la raíz en <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> .....	64
Tabla 22 Tabla ANOVA de factor de bioacumulación en la raíz en <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> .....	65
Tabla 23 Tabla descripción bloque tratamiento de factor de bioacumulación en la raíz en <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> .....	65
Tabla 24 Tabla prueba de tukey de factor de bioacumulación en la raíz en <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> por tratamiento .....	66
Tabla 25 Factor de traslocación en <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> .....	67
Tabla 26 Tabla ANOVA de Factor de traslocación en <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> .....	68
Tabla 27 Tabla descripción bloque tratamiento de Factor de traslocación en <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> .....	69
Tabla 28 Tabla prueba de tukey de Factor de traslocación en <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> .....	69

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Especies en floración <i>Lupinus mutabilis</i> .....	34
Figura 2 Especies en floración <i>Vicia faba</i> .....	35
Figura 3 Localización de puntos de muestreo del sector Pallcapampa de forma regular: forma de trapecio.....	37
Figura 4 Mapa de parcela de estudio para la toma de muestras de suelo en el sector Pallcapampa, Puno – Perú. ....	38
Figura 5 Concentración de cadmio (mg / kg) en el suelo en áreas contaminadas del sector Pallcapampa.....	46
Figura 6 Muestra de las raíces de las especies de <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> .....	47
Figura 7 Concentración promedio de cadmio (ppm) en raíces de las especies en ambiente controlado .....	51
Figura 8 Muestra de tallos de las especies de <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> .....	52
Figura 9 Concentración promedio de Cadmio (ppm) en tallos de las especies en ambiente controlado .....	55
Figura 10 Muestra de hojas de las especies de <i>Lupinus mutabilis</i> y <i>Vicia faba</i> .....	57
Figura 11 Concentración promedio de Cadmio (ppm) en hojas de las especies en ambiente controlado .....	60
Figura 12 Georreferenciación de puntos de muestreo .....	84
Figura 13 Toma de muestras de suelo .....	84
Figura 14 Obtención de muestras de suelo .....	84
Figura 15 Cuarteo para la obtención de 1 kg de muestra .....	84
Figura 16 Rotulado de la muestra.....	85
Figura 17 Envío de las muestras en cooler para su análisis.....	85
Figura 18 Vivero Yanaoco .....	85
Figura 19 Vivero para el desarrollo de especies.....	85

Figura 20 Semillas de <i>Vicia faba</i> .....	86
Figura 21 Semillas de <i>Lupinus mutabilis</i> .....	86
Figura 22 Germinación de <i>Vicia faba</i> .....	86
Figura 23 Germinación de <i>Lupinus mutabilis</i> .....	86
Figura 24 Plantación de semillas en maceteros de <i>Vicia faba</i> .....	87
Figura 25 Plantación de semillas en maceteros de <i>Lupinus mutabilis</i> .....	87
Figura 26 pH del suelo .....	87
Figura 27 humedad del suelo.....	87
Figura 28 Crecimiento de <i>Vicia faba</i> .....	88
Figura 29 Crecimiento de <i>Lupinus mutabilis</i> .....	88
Figura 30 Especies en desarrollo <i>Vicia faba</i> .....	88
Figura 31 Especies en desarrollo <i>Lupinus mutabilis</i> .....	88
Figura 32 Especies en desarrollo óptimo de <i>Vicia faba</i> .....	89
Figura 33 Especies en desarrollo óptimo de <i>Lupinus mutabilis</i> .....	89
Figura 34 Muestras de <i>Vicia faba</i> (raíz, tallo y hojas) .....	89
Figura 35 Muestras de <i>Lupinus mutabilis</i> (raíz, tallo y hojas) .....	90
Figura 36 Pesaje de las muestras de <i>Vicia faba</i> y <i>Lupinus mutabilis</i> .....	90
Figura 37 Llevado de muestras al laboratorio en cooler .....	91
Figura 38 Colocado de muestras para su secado .....	91
Figura 39 Secado de las muestras en estufa para luego enviar al laboratorio para su análisis de concentración de Cadmio de las especies de <i>Vicia faba</i> y <i>Lupinus mutabilis</i> .....	92

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Panel fotográfico .....	84
Anexo 2 Informe de ensayo sobre análisis de suelo sector Pallcapampa distrito de Huancané .....	93
Anexo 3 Informe de ensayo sobre análisis de raíz <i>Vicia faba</i> .....	94
Anexo 4 Informe de ensayo sobre análisis de tallo <i>Vicia faba</i> .....	95
Anexo 5 Informe de ensayo sobre análisis de hojas <i>Vicia faba</i> .....	96
Anexo 6 Informe de ensayo sobre análisis de raíz <i>Lupinus mutabilis</i> .....	97
Anexo 7 Informe de ensayo sobre análisis de tallo <i>Lupinus mutabilis</i> .....	98
Anexo 8 Informe de ensayo sobre análisis de hojas <i>Lupinus mutabilis</i> .....	99
Anexo 9 Mapa de ubicación sector Pallcapampa -Huancané.....	100

## RESUMEN

La contaminación generada por enmiendas degrada el suelo y subsuelo al ingreso a la cadena trófica, ya que altera el metabolismo y es necesario la aplicación de técnicas sostenibles que permitan la remediación del suelo. La presente investigación tiene por objetivo determinar el factor de bioacumulación y traslocación de cadmio en *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* en áreas contaminadas del sector Pallcapampa, distrito de Huancané. El tipo de muestreo fue no probabilístico, donde se formaron tres tratamientos: T1, T2, T3 de 2.5, 5.0, 10.0 mg Cd/kg suelo respectivamente y un tratamiento control T0, cuyos ensayos se realizaron en un ambiente controlado al interior del invernadero. Se determinó por el método \*7003 EPA 200.7 determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP - OES, los coeficientes biológicos por \*5090 determination of trace elements in food by inductively coupled plasma - mass spectrometry, el análisis estadístico es un diseño completamente al azar con arreglo factorial de dos por cuatro. Los resultados fueron de 0.514 mg/kg de Cd en promedio en el suelo, las concentraciones máximas de Cd acumuladas por las especies fueron en el siguiente orden: raíces > tallos > hojas, donde en *Lupinus mutabilis* fueron de 6.849, 6.633, 6.258 ppm y en *Vicia faba* 7.480, 7.410, 7.200 ppm respectivamente, los coeficientes biológicos como FB (aérea) > 1, FB (raíces) < 1 y FT >1, las especies tienen la capacidad de bioacumular y traslocar el Cd. Finalmente, se concluye que estas especies son bioacumuladoras y traslocadoras, ya que el suelo de estudio presenta mínima contaminación ambiental por Cd, lo cual no superan los estándares de calidad ambiental de suelos agrícolas, siendo beneficioso para la exportación de dichos productos de ambas especies.

**Palabras clave:** Bioacumulación, cadmio, fitorremediación, *Lupinus mutabilis*, traslocación, *Vicia faba*.

## ABSTRAC

Contamination generated by amendments degrades the soil and subsoil upon entering the trophic chain, since it alters the metabolism and it is necessary to apply sustainable techniques that allow soil remediation. The objective of this research is to determine the bioaccumulation and traslocation factor of cadmium in *Lupinus mutabilis* and *Vicia faba* in contaminated areas of the Pallcapampa sector, district of Huancané. The type of sampling was non-probabilistic, where three treatments were formed: T1, T2, T3 of 2.5, 5.0, 10.0 mg Cd/kg soil respectively and a control treatment T0, whose tests were carried out in a controlled environment inside the greenhouse. The determination of metals and trace elements in soils and sediments by ICP - OES method \*7003 EPA 200.7, the biological coefficients by \*5090 determination of trace elements in food by inductively coupled plasma - mass spectrometry, the statistical analysis is a completely randomized design with a two by four factorial arrangement. The results were 0.514 mg/kg Cd on average in soil, the maximum Cd concentrations accumulated by species were in the following order: roots > stems > leaves, where in *Lupinus mutabilis* were 6. 849, 6,633, 6,258 ppm and in *Vicia faba* 7,480, 7,410, 7,200 ppm respectively, the biological coefficients as FB (aerial) > 1, FB (roots) < 1 and FT >1, the species have the capacity to bioaccumulate and traslocate Cd. Finally, it is concluded that these species are bioaccumulators and traslocators, since the study soil shows minimal environmental contamination by Cd, which does not exceed the environmental quality standards for agricultural soils, being beneficial for the export of these products of both species.

**Key words:** Bioaccumulation, cadmium, phytoremediation, *Lupinus mutabilis*, traslocation, *Vicia faba*.

## INTRODUCCIÓN

El cadmio (Cd) es un metal pesado, no esencial para las plantas y muy tóxico, cuya concentración en el suelo se incrementa progresivamente debido a actividades antrópicas, uso de fertilizantes fosfatados (Kabata & Pendias, 2001) en especial la roca fosfórica. Por lo general, el cadmio presenta biodisponibilidad, movilidad y persistencias en el suelo, ocasionando toxicidad a su ingreso a la cadena trófica, ya que altera el metabolismo de las plantas y por ende disminuye la productividad de los cultivos (Rodríguez et al., 2019).

El cadmio se bioacumula en los tallos, raíces y una proporción se trasloca en la parte aérea de la especie, concentrándose en orden decreciente en tallo, hoja y raíces (Medina & Montano, 2014). Al absorber el cadmio, las especies se consideran fitorremediadoras, clasificadas por los factores de bioconcentración y traslocación, lo cual posibilita una remediación del suelo altamente efectiva, ya que las especies seleccionadas se utilizan según sus propiedades de fitorremediación para descontaminar áreas agrícolas afectadas por metales pesados en toda la región de manera más eficiente.

En la región Puno la agricultura, hace más intensivo el empleo de las enmiendas, situación que está ocasionando la degradación del suelo por la presencia de metales pesados como el cadmio (Yang et al., 2013), debido a ello es necesario la aplicación de técnicas de biorremediación que permitan remediar la contaminación de suelos con el empleo de plantas y organismos (Marrero et al., 2012). En este entender es necesario investigar sobre el potencial de fitoextracción y/o fitoestabilización de cada especie nativa, mediante los factores de bioconcentración y traslocación (Medina & Montano, 2014), para hacer uso eficiente de sus beneficios como plantas fitorremediadoras.

En la provincia y distrito de Huancané, en el sector de Pallcapampa, los suelos se degradan por el uso excesivo de la roca fosfórica, acumulándose los metales pesados como el cadmio en los suelos, para remediar se debe usar tecnologías amigables, por lo cual se tiene como objetivo de la investigación determinar el factor de bioacumulación y traslocación de Cadmio en *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* en áreas contaminadas del sector Pallcapampa, distrito de Huancané.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción del problema.

La contaminación generada por enmiendas degrada el suelo y subsuelo (Mi et al., 2018), en especial la roca fosfórica (producto obtenido de la extracción de una mina), el cual contiene altas concentraciones de minerales fosfatados e impurezas como el cadmio, el mismo que al ser liberado en el suelo presenta biodisponibilidad, movilidad y persistencias ocasionando toxicidad a su ingreso a la cadena trófica, ya que altera el metabolismo de las plantas y por ende disminuye la productividad de los cultivos (Rodríguez et al., 2019).

Dada la alta persistencia y toxicidad del cadmio, es necesario la aplicación de técnicas sostenibles que permitan la remediación del suelo; siendo una de ellas la fitorremediación, la misma que hace uso de técnicas que reducen la concentración de contaminantes por procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados al suelo (Marrero et al., 2012), poseen el potencial de fitoextracción y/o fitoestabilización, los mismos que están determinados por el factor de bioconcentración y traslocación (Medina & Montano, 2014).

La región Puno está expuesto a la contaminación del suelo por metales pesados (S. Yang et al., 2013), por la aplicación de enmiendas como la roca fosfatada, afectando el medioambiente, causando impactos de forma directa e indirectamente (Huang et al., 2017), los suelos agrícolas contaminados por cadmio, permiten la acumulación de este metal en los cultivos desarrollados en la zona (Huang et al., 2017), afectando la salud humana y animal al ingresar a la cadena trófica (Zu et al., 2017).

En el sector Pallcapampa de la provincia y distrito de Huancané, se absorbe y se acumula fácilmente los metales pesados en las especies, posee alta persistencia en el suelo (Zu et al., 2017), alta solubilidad como el cadmio; por ende, se requiere el uso de especies de la zona que puedan ser especies fitorremediadoras, clasificadas

según los factores de bioacumulación y traslocación, lo cual permite una remediación del suelo más eficiente, ya que estas son destinadas en función a sus características fitorremediadoras para descontaminar zonas perturbadas con metales pesados, por consiguiente, el *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* son especies nativas capaces de mejorar la calidad de los suelos.

## **1.2. Preguntas de la investigación**

### **1.2.1. Pregunta general**

¿Cuál es el factor de bioacumulación y traslocación de cadmio en *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* en áreas contaminadas del sector Pallcapampa, distrito de Huancané?

### **1.2.2. Preguntas específicas**

- ¿Cuál es la concentración de cadmio en áreas contaminadas en el sector Pallcapampa, distrito de Huancané?
- ¿Cuál es la concentración de cadmio en las especies *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* en ambiente controlado en el sector Pallcapampa, distrito de Huancané?
- ¿Cuál es el factor de bioacumulación y traslocación de cadmio en las especies *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* en ambiente controlado en el sector Pallcapampa, distrito de Huancané?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar el factor de bioacumulación y traslocación de cadmio en *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* en áreas contaminadas del sector Pallcapampa, distrito de Huancané.

### 1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración de cadmio en áreas contaminadas en el sector Pallcapampa, distrito de Huancané.
- Determinar la concentración de cadmio en las especies *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* en ambiente controlado en el sector Pallcapampa, distrito de Huancané.
- Determinar el factor bioacumulación y traslocación de cadmio en las especies *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* en ambiente controlado en el sector Pallcapampa, distrito de Huancané.

### 1.4. Justificación

En lo ambiental, la fitorremediación es una técnica amigable para la limpieza ambiental de suelos contaminados con metales pesados (Marrero et al., 2012), en investigaciones realizadas a *Helianthus annuus* lo clasifican como especie acumuladora Clemente et al., (2021), así también el *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* poseen antecedentes que los clasifican como especies fitorremediadoras de suelos contaminados con cadmio (García et al., 2012; Papuico, 2020), ello debido a la interacción suelo - planta que permite la absorción del cadmio, minimizando el impacto ambiental, así como el riesgo que genera a la población y a la producción agrícola.

En lo social, las especies fitorremediadoras ayudan el progreso de zonas agrícolas libre de contaminantes y productos de buena calidad para la exportación, ya que la fitorremediación es una técnica rentable y respetuosa con el ambiente (Delgadillo et al., 2011), que permiten la bioacumulación y traslocación del metal en diferentes partes de la especie, mejorando así, los suelos agrícolas los cuales son de bajo costo y de rápida implementación.

En la investigación, los factores de bioacumulación y traslocación clasifican como especies fitorremediadoras a *Lupinos mutabilis* y *Vicia faba*, ya que estas especies acumulan metales, por lo cual genera información sobre nuevas especies en la recuperación de suelos contaminados por leguminosas ya sea a corto, mediano y largo plazo, beneficiando indirectamente a las poblaciones.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Ortiz et al., (2023), evaluaron el efecto de las cepas de *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma viride* en la bioacumulación de Cr, Cd y Pb en *Cucumis sativus* inoculadas. El suelo de estudio mostró Pb, Cd y Cr de 34.63, 0.24 y 32.32 mg/kg, respectivamente; la colonización de raíces fue más alto en *T. harzianum*, donde traslocaron Pb, Cd y Cr a frutos y hojas, encontraron concentraciones más altas de Pb y Cd en las hojas, mientras que el Cr en frutos, el Pb no fue encontrado en la cáscara al igual que el Cd, los tratamientos *T. harzianum* y *T. viride*, a  $2.34 \times 10^6$  UFC/mL, respectivamente, redujeron la concentración en un 20.2 %, mostró la concentración más baja de Cr en pulpa (5.572 mg/kg). Lo cual no encontraron diferencias significativas en la concentración de metales en cáscara y hojas.

**Orozco et al., (2022)**, determinaron el factor de bioconcentración y el Factor de traslocación tomando una zona agrícola de aproximadamente 44 hectáreas con historial minero en el municipio de Morelos, Zacatecas, para los metales As, Pb, Hg y Cd, así como estimar los riesgos potenciales hacia la salud y la ingesta de metales pesados en la zona, para la matriz de chile *Capsicum annum L.* La especie fue fraccionada en raíz y parte área, digeridos por el método de digestión húmeda ácida EAA-F y EAA-HG para posteriormente determinar la concentración de los distintos analitos (As, Pb, Hg y Cd). El resultado de  $FBC > 1$ , la especie *Capsicum annum L.* fue considerada acumuladora para el caso de Cd y  $FT > 1$ . Las especies fueron efectivas para traslocar los metales que absorbieron.

**Zeng et al., (2020)**, estudiaron la fitorremediación de la especie *Morus alba L.* en diferentes niveles de suelo contaminado con Cd. El muestreo dinámico fue en 30, 60, 120 y 180 días de crecimiento. No hubo cambios significativos por el bajo estrés del Cd en 30 a 60 días, el contenido de Cd en los tejidos de *M. alba L.* aumentó a medida que los niveles de Cd aumentaron en el suelo y el contenido máximo de Cd en raíces, tallos y hojas fue de 55.8, 27.7 y 7.59 mg/kg, la concentración mayor fue en raíz seguida de tallos y hojas. Fue considerada la especie como un candidato potencial para la fitorremediación en lugares contaminados con Cd.

**Zehra et al., (2020)**, evaluaron la concentración de Cd en *Helianthus annuus*. Las semillas osciló entre 0.59 a 5.27 mg/kg, en brotes varió de 8.60 a 18.60 mg/kg y en raíces osciló entre 0.88 a 4.99 mg/kg en el SI del suelo, el patrón de concentración de Cd en las partes fue de brotes, semillas, raíces, lo cual fue significativamente diferente ( $P < 0.05$ ) en partes del SII; en las semillas la concentración de Cd varió de 0.59 a 2.76 mg/kg, en brotes oscilaron entre 2.20 a 8.26 mg/kg y raíces osciló entre 0.26 a 0.55 mg/kg en el SII del suelo, el patrón de las concentraciones de Cd fue de brotes, semillas, raíces. Las concentraciones de la especie fueron mayores en SI que SII.

**Zhu et al., (2018)**, estudiaron el rendimiento de la biomasa de especies bajo tratamientos de Cd, *A. conyzoides* y *C. crepidioides*. El peso fresco de *C. crepidioides* fue tres veces más que el de *A. conyzoides*, en el caso de *A. conyzoides*, el rendimiento de la biomasa que crecía en los suelos con 3, 6 y 12 mg/kg Cd no disminuyó significativamente ( $p < 0.05$ ) en comparación con el control (CK), aunque el rendimiento se redujo significativamente ( $p < 0.05$ ) con concentraciones altas de 30 mg/kg Cd. Había una limitación de la tolerancia de la especie al Cd en rendimiento de la biomasa, pero solo exhibió pequeña reducción en el tratamiento de 30 mg/kg Cd, lo que indicó una fuerte tolerancia al Cd.

**Liu et al., (2016)**, evaluaron las aplicaciones de fertilizantes, lo cual pueden provocar un elevado nivel de Cd en los suelos agrícolas. La concentración de Cd en el suelo de S1, S2 y S3 era de 3.48, 3.73 y 5.42 mg/kg, al comienzo de

la investigación, lo cual la contaminación por Cd fue grave, lo que hizo necesario evaluar la seguridad alimentaria de los cultivos y llevar a cabo la remediación; la concentración de Cd en la capa arable fue extraída por los cultivos en 15.11, 8.47 y 2.50 mg/kg después de la rotación de 1 año, siendo el porcentaje de Cd tomado por los cultivos en tres sistemas S1(2.30 %), S2 (1.16 %), S3 (0.21 %), sus SPI redujeron a valores de 3.07, 2.68 y 14.63 para S1, S2 y S3, respectivamente. Las eficiencias de los tres sistemas de cultivo para la remoción del Cd de los suelos fueron notables y que el S1 tuvo mayor capacidad de remoción entre los tres sistemas.

**García et al., (2012)**, evaluaron el efecto de diferentes concentraciones de cadmio sobre algunas variables agronómicas, crecimiento y desarrollo de *Vicia faba*. El diseño experimental fue tipo unifactorial con cuatro repeticiones, la concentración de Cd con la que comenzaron fue propia del suelo, 4.1 mg/kg, a la cual se le añadieron 20 y 40 mg/kg de Cd. Los resultados indican que las variables agronómicas evaluadas no presentan diferencias estadísticas significativas con el testigo ( $p < 0.05$ ); por otra parte, la raíz fue el órgano que absorbió más Cd, seguida de hojas, tallos y la vaina. La especie absorbió Cd entre 8.6 y 65.2 mg/kg, concentraciones tóxicas para el ser humano.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

**Medina, (2022)**, evaluó la capacidad fitoestabilizadora de *Solanum peruvianum L.* en suelos contaminados con Cd, a nivel experimental, en donde utilizaron ocho individuos germinados de esta especie, distribuidos en dos grupos de tratamientos de suelo. Los suelos utilizados fueron extraídos de una zona cercana a un embalse de relaves y de la zona de crecimiento natural de la especie en estudio, a los cuales se agregó compost en diferentes proporciones (T1: 40%, 60%; T2: 60%, 40%), durante un periodo de tres meses, luego seccionados en biomasa aérea y radicular, así como el suelo fueron analizados por el método de espectrofotometría de absorción atómica. Obtuvo que el Cd fue una especie indicadora, ya que su  $FBC > 1$  y  $FT < 1$ . La comparación entre concentraciones acumuladas no fue significativa entre sectores.

**Chuptaya et al., (2022)**, evaluaron el potencial de fitorremediación de *Schinus molle* y *Acacia macracantha* en suelos contaminados con metales pesados en Canta - Lima. Obtuvieron 8 muestras de suelo y 18 submuestras vegetales (raíz, tallo y hojas) extraídas de 6 muestras de plantas, que fueron analizadas por el laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L. Las muestras de suelo de ambas especies superaron los estándares respecto a Cd, Cu, Pb y Zn mientras que Ba, Cr, Ni, Se, Tl y Hg estuvieron dentro del límite, el FBC y el FT fueron menores a 1 en ambas especies con respecto a Cd, Cu, Pb y Zn y mayo a 1 para Tl, Se, Ba y Hg. Las especies tiene el potencial de fitorremediación, para el tratamiento de suelos contaminados con metales pesados.

**Clemente et al., (2021)**, determinaron la acumulación y tolerancia de cadmio en *Helianthus annuus L.* en suelos contaminados con dicho metal. La investigación consistió en dos experimentos conducidos en macetas bajo condiciones de invernadero, el primero a concentraciones de 0, 10, 15, 20 y 25 mg Cd/kg suelo, evaluaron la altura, producción de materia seca y concentración de Cd en raíz, tallo y hoja a los 84 días, el segundo a concentración de 20 mg Cd/kg y evaluaron a los 35, 49, 63, 75 y 84 días la concentración de Cd en los mismos órganos. Determinaron que las dosis no afectaron la altura ni la producción de materia seca, el IT = 1, demostró su alta tolerancia al metal, al aumentar las cantidades de Cd en suelo incrementó la concentración de Cd en la especie, la raíz concentró más Cd debido a una menor traslocación hacia la parte aérea. El FBC > 1, en tanto el FT < 1 en ambos experimentos. La especie fue fitoestabilizadora por debajo de 25 mg Cd/kg suelo.

**Papuico, (2020)**, realizó un ensayo en un suelo contaminado con cadmio, utilizando macetas conteniendo un promedio de dos kg de suelo, donde sembró *Lupinus mutabilis*. El experimento lo llevó por un periodo de 62 días, los tratamientos consistieron en cinco dosis de estiércol de lombriz: 0, 5, 10, 15 y 20 % (m/m), dispuestos en un diseño completamente al azar, con 3 repeticiones, bajo condiciones controladas, fue analizado el contenido de Cd en planta y suelo, así como el FBC. La acumulación de cadmio en la parte aérea de la especie tuvo un promedio de 0.375 mg/kg Cd materia seca, disminuyó

con el incremento de la dosis de estiércol de lombriz, la concentración de cadmio en el suelo varió de 2.870 a 2.410 mg/kg para los tratamientos 0 % y 20 % de estiércol, respectivamente, el FBC < 1. No tuvo diferencias significativas entre tratamientos.

**Regalado & Peláez, (2019)**, determinaron la presencia de contaminantes químicos de Cu, Pb, Cd, Fe, Zn y Hg en los alimentos de *Solanum tuberosum*, *Triticum aestivum* y *Lupinus mutabilis* procedentes de la minería en Shiracmaca, Huamachuco. Determinaron Cu, Pb, Cd, Fe, Zn en 54 muestras de cada especie, por el método de absorción atómica y para Hg por espectrofotometría molecular. Los resultados en *Solanum tuberosum* fue de una concentración promedio de 109.8 mg/kg en Fe, en *Triticum aestivum* de 54.40 mg/kg en Cd, y en *Lupinus mutabilis* de 75.54 mg/kg en Fe. Concluyeron que están por encima de los niveles permisibles, así mismo las concentraciones promedio en mg/kg de Hg, Cu, Pb y Zn en las muestras de las especies alcanzaron niveles permisibles.

**Maguiña, (2017)**, determinó la capacidad fitorremediadora de *Lupinus mutabilis Sweet* en suelos contaminados con cadmio. Los ensayos lo realizaron en un invernadero bajo condiciones controladas, las especies fueron sometidas a cuatro tratamientos: T1, T2, T3, T4 de 4, 8, 12, 16 mg de CdSO<sub>4</sub>/L respectivamente, y un control T0; el efecto del cadmio fue determinado por espectrofotometría de absorción atómica, evaluando el daño ocasionado en la raíz, tallos, folíolos y la concentración de cadmio en el sustrato. La mayor acumulación de cadmio fue de 3.13, 0.15, 0.13 mg/kg en las raíces, tallos y folíolos, respectivamente; el efecto morfológico e histológico fue notorio en raíz a los 20 días de exposición mientras que, en tallos y folíolos a los 50 días. La tasa de supervivencia demostró que existió una capacidad fitorremediadora reducida, la cual fue afectada con el aumento del cadmio.

**Hernández, (2016)**, evaluó la bioacumulación de cadmio en *Lolium perenne* L. sembrado en tres sustratos (Ácido, encalado y humus) con adición de 0, 100 y 200 ppm de cadmio (Cl<sub>2</sub>Cd 2.5H<sub>2</sub>O) en la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima-Perú. Empleó un diseño completamente aleatorio con un arreglo

factorial de tres por tres. Los resultados obtenidos en cuanto a la altura de la especie mostro diferencias altamente significativas ( $p > 0.01$ ) para el humus, en la bioacumulación de cadmio en el primer y segundo corte resultó con diferencias altamente significativas ( $p > 0.01$ ) para sustrato y cadmio, respecto a la producción de macollos, el humus limita significativamente la bioacumulación de cadmio en hojas de la especie. Por lo tanto, infirieron que protege de la contaminación a la cadena alimentaria suelo-planta-hombre y recomiendan su aplicación en suelos contaminados con cadmio.

**Medina & Montano, (2014)**, estudiaron los principales metales pesados Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Sb, Zn, Ag y Ni en el suelo, parte aérea y raíz de las especies. Determinaron el FBC y FT de las dos especies, con la finalidad de conocer su potencial de extracción y/o estabilización de metales pesados. Obtuvieron que las raíces de *Juncus arcticus Willd.*, fue más eficiente que la de *Cortaderia rudiuscula Stapf*, en extraer Zn, Cu, Mn, Cd, Sb, Al, As, Fe y Pb, asimismo, la *Cortaderia rudiuscula Stapf* fue más eficiente en la traslocación de Cd, mientras que el *Juncus arcticus Willd.*, fue más eficiente en la traslocación de Pb, Sb, As, Fe y Al.

### **2.1.3. Antecedente regional y local**

**Calla, (2021)**, evaluó la concentración de cadmio en suelos y órganos vegetales de *Theobroma cacao L.*, por medio coeficientes biológicos en San Gabán, Puno. Utilizó un método de muestreo no probabilístico, que abarcó cinco parcelas productivas, donde tomó cinco muestras compuestas de suelo y de tres órganos raíces, hojas y almendras de diez árboles por parcela; asimismo, estimó coeficientes biológicos como FBC, FT y FR. Los resultados fueron de 0.0448 mg/kg de Cd promedio en suelos, la secuencia fue de hojas > almendras > raíces con promedios de 0.6918, 0.325 y 0.2402 mg/kg en órganos vegetales, los coeficientes biológicos como FBC (raíces), FBC (almendras), FT y FR de 5.41, 7.29, 2.88 y 0.58 respectivamente.

**Suaña, (2018)**, determinó la concentración de cadmio en suelos contaminados del centro poblado la Rinconada Puno y la capacidad de absorción de cadmio por *Helianthus annus L.* en raíz, tallo y hojas. Lo realizó en ambiente

controlado invernadero, comparado con el ambiente del exterior, considerando como factor principal la organografía vegetal de la especie. La muestra de suelo en el invernadero presentó 24.36 mg/kg y en la intemperie 21.76 mg/kg Cd, no existiendo diferencia estadística entre ambos ambientes ( $p = 0.112$ ), en el ambiente exterior se obtuvo en hojas 0.21 mg/kg de cadmio, en raíz 0.88 y tallo 0.29, en el interior en hoja 0.29 mg/kg, en raíz 1.80 y tallo 0.27, siendo estadísticamente superior el contenido en raíz ( $p < 0.05$ ), la raíz de la especie presenta una absorción media de cadmio de 5.716 %, tallos 1.217 % y hojas 0.529 %. La mayor absorción del cadmio fue a nivel radicular.

## **2.2. Marco teórico**

La agricultura moderna se ha considerado como una de las mayores fuentes de metales pesados, debido al uso de los fertilizantes, enmiendas, especialmente los fosforados, plaguicidas (Ariza & Pinzón, 2022), que afectan considerablemente el suelo, aire y las fuentes hídricas y consecuentemente la salud humana (Mahecha et al., 2017).

### **2.2.1. Enmiendas**

Las enmiendas son sustancias que se añaden al suelo para mejorar sus características físicas, biológicas y químicas (Delgado, 2017), a la vez éstas tienen metales traza (Damian et al., 2018), en sus impurezas como el cadmio, éstas pueden estar constituidas por desechos de origen animal, vegetal o mixto (enmienda orgánica) o también mineral (enmienda química) Suaña, (2018), las cuales son fuentes esenciales de nutrientes que mejoran los procesos de infiltración y capacidad de retención del agua (García, 2008).

### **2.2.2. Enmiendas orgánicas**

Enmienda orgánica es el producto procedente de materiales carbonados de origen vegetal o animal (Murillo et al., 2020), cuya función es mantener o aumentar el contenido de materia orgánica del suelo (García, 2008), mejoran las propiedades físicas, también, su actividad química o biológica (Delgado, 2017), dentro de ellas está la roca fosfórica y los abonos fosfatados las cuales son más utilizadas en el sector agrícola (Agricultura Ecológica, 2021).

### 2.2.3. Enmiendas químicas

Enmiendas químicas son productos minerales que restauran propiedades físicas y químicas en el suelo (Damian et al., 2018) que puedan ser líquidos y/o sólidos que favorecen los fenómenos relacionados con la fecundación, formación y maduración de los frutos (Agricultura Ecológica, 2021), estas poseen metales traza (García, 2008).

### 2.2.4. Composición química de la enmienda

La enmienda fosfórica, además de fósforo (P) y Calcio (Ca), contiene Sílice (SiO<sub>2</sub>), Flúor (F) (Agricultura Ecológica, 2021) y otros elementos a nivel de trazas como Cadmio (Damian et al., 2018), entre otros que causan impactos ambientales a nivel de la capa arable y que se añaden a la cadena trófica (García, 2008).

### 2.2.5. Enmiendas contaminadas con cadmio

El uso de enmiendas fosfatadas derivados de la roca fosfórica aportan el metal cadmio al suelo (Murillo et al., 2020), durante el proceso de elaboración de dichas enmiendas quedan en sus impurezas, a nivel de trazas (Damian et al., 2018) y es material relevante para su estudio desde el punto de vista ambiental (Villanueva, 2006).

### 2.2.6. Cadmio y fertilizantes fosfatados en el suelo

En condiciones normales del suelo, en la Tabla 1 aparecen concentraciones de Cd en diferentes fertilizantes fosfatados, nitrogenados y fitosanitarios (Mahecha et al., 2017), que pueden ocasionar toxicidad a las plantas (Faquin, 2005), la agricultura es una de las actividades antrópicas que por fertilizantes contribuyen a la contaminación del suelo por Cd (Roberts, 2014).

**Tabla 1**

*Concentración de Cd (mg/kg) adicionado al suelo a través de diferente fuente*

<b>Metal</b>	<b>Fertilizantes fosfatados</b>	<b>Fertilizantes nitrogenados</b>	<b>Fitosanitarios</b>
<b>Cd</b>	0.1 – 170	0.05 – 8.5	1.38 – 1.94

Fuente: (Mahecha et al., 2017).

### **2.2.7. Roca fosfórica**

El Cd está naturalmente en los derivados de la roca fosfórica (Roberts, 2014), asimismo, la FAO/OIEA, (2007), menciona que las grandes reservas de Piura, lo que es Bayoyar y Sechura, pueden aportar en promedio 11 mg/kg de Cd al suelo al pasar el tiempo, estas causan impactos al adherirse al suelo (Murillo et al., 2020).

### **2.2.8. Metales pesados**

Son considerados metales pesados aquellos elementos cuyas densidades es mayor a 5 g/mL, además masa y peso atómico superior a 20 (Montano et al., 2022). Estos elementos incluyen aluminio (Al), bario (Ba), berilio (Be), cobalto (Co), cobre (Cu), estaño (Sn), hierro (Fe), manganeso (Mn), cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Arsénico (As), Cromo (Cr), Molibdeno (Mo), Níquel (Ni), Plata (Ag), Selenio (Se), Talio (Tl), Vanadio (Va), Oro (Au) y zinc (Zn) (Londoño et al., 2016).

### **2.2.9. Cadmio**

Es relativamente extraño en la naturaleza que se asocia al zinc y tiene un color blanco azulado (Lane et al., 2015). Peso atómico 112, lo cual tiene ocho isótopos estables y presenta once radioisótopos artificiales inestables (Chung, 2018), se encuentra en enmiendas fosfatadas, nitrogenadas y fitosanitarios (Mahecha et al., 2017).

Para los organismos la principal fuente de exposición al cadmio son los alimentos y el agua (Rojjanateeranaj et al., 2017), las especies vegetales son los de mayor acumulación de cadmio (Montano et al., 2022), debido a que, son ricos en fibra como legumbres, cereales y papas, contribuyen una mayor exposición en la agricultura (Sangthong et al., 2016).

### **2.2.10. Toxicología del cadmio**

El cadmio es un metal tóxico e innecesario que se acumula en los tejidos humanos y en las plantas (Zu et al., 2017), reduce el crecimiento, la actividad fotosintética, el contenido de clorofilas y provoca clorosis principalmente en hojas jóvenes (Hernández et al., 2019). También, interfiere en el transporte de

nutrientes, ocasiona estrés oxidativo y afectaciones en las actividades enzimáticas (Ramírez, 2013).

#### **2.2.11. Toxicodinamica del cadmio**

El cadmio es una toxina ambiental (Villanueva, 2006) que causa cambios más severos en los niveles enzimáticos, renales, respiratorios y digestivos en humanos (Lane et al., 2015) y tiene una vida media muy prolongada en suelos y plantas, lo cual es transportado por la cadena alimenticia (Ramírez, 2013).

#### **2.2.12. Remediación del suelo con cadmio**

La remediación de suelos contaminados es una estrategia para enfrentar esta problemática (Montano et al., 2022), también es necesario utilizar distintos métodos, ya sean físicos, químicos y biológicos para inmovilizar el Cd disponible en el suelo o eliminar este elemento del agrosistema empleando plantas bioacumuladoras (Beltrán & Gómez, 2016), de tal manera puedan reducir altas concentraciones de metales pesados en el órgano cosechable como en el follaje y fruto de las plantas (Vega, 2021).

#### **2.2.13. La Biorremediación**

En la biorremediación los microorganismos juegan un rol vital en la transformación de elementos traza (Montano et al., 2022), ya que influyen su biodisponibilidad y remediación, modificando la concentración de metales pesados en el ambiente (Núñez et al., 2004), pues estos cuentan con mecanismos enzimáticos y no enzimáticos para remover metales en solución (Beltrán & Gómez, 2016).

#### **2.2.14. Fitorremediación**

La fitorremediación es una metodología que está dentro de la biorremediación (Montano et al., 2022) que involucran el uso de especies vegetales capaces de absorber, evaporar, tolerar y acumular altas concentraciones de contaminantes (Bernal, 2014), permitiendo así la remoción de las mismas; ya que no es compleja, lo cual es limpia y no afecta la estructura del suelo, ni utiliza reactivos químicos (Ghori et al., 2016), el cual consiste en el uso de plantas metalofitas o hiperacumuladoras que se caracterizan por extraer el metal a través de raíces y concentrándolos en sus tejidos niveles altos (Nõlvak et al.,

2013; Mahecha et al., 2017; Mahecha et al., 2017), actúan positivamente sobre el suelo, mejorando sus propiedades físicas y químicas para la formación de una cubierta vegetal (Ghori et al., 2016).

## **2.2.15. Mecanismos de fitorremediación**

### **2.2.15.1. Fitoextracción**

La fitoextracción se basa en el uso de plantas que acumulan elementos tóxicos o compuestos orgánicos (Núñez et al., 2004), estos son absorbidos y concentrados (Fu et al., 2018), a partir de los procesos fisiológicos de la planta (Montano et al., 2022), a través de las raíces extraen metales pesados para luego transportarlos a sus tejidos aéreos (Ahmad et al., 2018), las plantas con mayor potencial son las especies metalofitas, que soportan un alto contenido de metales y son las únicas que pueden sobrevivir (Zu et al., 2017), lo cual son óptimos en la hiperacumulación (Jeevanantham et al., 2019), acumulan y traslocan en la biomasa aérea, es decir, los brotes (Gong et al., 2018).

### **2.2.15.2. Fitoabsorción**

La fitoabsorción es el empleo de plantas hiperacumuladoras de metales pesados en el mejoramiento de suelos contaminados (Marrero et al., 2012), consiste en la absorción de metales contaminantes mediante las raíces de las plantas (Montano et al., 2022) y su acumulación en tallos y hojas por las propiedades agronómicas y su fisiología (Suaña, 2018), cuyos metales de mayor biodisponibilidad para la absorción por las plantas acumuladoras son: el Cd, Ni, Zn, As, Se y Cu (Marrero et al., 2012).

### **2.2.15.3. Fitoestabilización**

La movilidad de los contaminantes se puede disminuir mediante la absorción y acumulación por las raíces de las plantas en el suelo (Montano et al., 2022), también conocida como fitoinmovilización o inactivación in situ (Medina & Montano, 2014).

### **2.2.15.4. Fitovolatilización**

Se produce la fitovolatilización cuando los árboles en crecimiento y otras especies absorben no solo agua (Montano et al., 2022), sino también

contaminantes orgánicos e inorgánicos, algunos de ellos pueden llegar a las hojas y evaporarse a la atmósfera (López et al., 2011).

#### **2.2.15.5. Fitodegradación**

Se produce cuando las plantas y sus microorganismos asociados descomponen los contaminantes orgánicos en productos inofensivos o los mineralizan en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O (Bernal, 2014; Núñez et al., 2004), durante este proceso, los contaminantes se metabolizan en las plantas y los tejidos vegetales (Montano et al., 2022), produciendo enzimas como la deshalogenasa y la oxigenasa que ayudan a catalizar el proceso de descomposición (López et al., 2011).

#### **2.2.15.6. Fitoimmobilización**

Es cuando provoca la sujeción y reducción de la biodisponibilidad de los contaminantes (Núñez et al., 2004), mediante la producción de compuestos químicos en la interfaz suelo raíz (Montano et al., 2022), los que inactivan las sustancias tóxicas, ya sea por procesos de absorción, adsorción o precipitación (Martínez et al., 2003).

#### **2.2.15.7. Técnica de la bioacumulación**

El factor de bioacumulación es la técnica o habilidad de una planta para acumular metales de suelos, coeficiente que se define como la relación de la concentración del metal en la planta (Ramírez et al., 2019) con respecto al suelo. Un valor superior a 1 implica que es factible utilizar la especie en fitoextracción (Hernández et al., 2012). Si el coeficiente es mayor a uno se puede decir que los metales absorbidos por las plantas pueden ser extraídos de la biomasa cosechada (Mendieta & Taisigue, 2014) y después ser reciclados (Ahmad et al., 2018).

#### **2.2.15.8. Técnica de la traslocación**

El factor de traslocación es una técnica que asocia la concentración de metal en raíz y parte aérea, el valor comparativo es 1 (Mendieta & Taisigue, 2014). Un valor mayor a 1 significa que la planta trasloca el metal de su raíz hacia sus hojas (Argota et al., 2014; Ramírez et al., 2019).

## 2.2.16. Factores de concentración

Existen ciertos factores que permiten que las plantas conozcan su capacidad para concentrar, absorber y traslocar metales del suelo a la parte aérea (Medina & Montano, 2014).

### 2.2.16.1. Fator de bioacumulacion (FB)

Según Medina & Montano, (2014) el factor de bioconcentración en la parte aérea de la planta: denominado como factor de bioacumulación (FB), es la relación de la concentración en la parte aérea de la planta y la concentración del suelo (Vyslou et al., 2003).

$$FB_{PA} = \frac{C_{PA}}{C_{Suelo}} \quad (1)$$

$FB_{PA}$ : Factor de bioacumulación en la parte aérea (tallos y hojas)

$C_{PA}$ : Concentración del metal en la parte aérea (tallos y hojas)

$C_{suelo}$ : Concentración del metal en el suelo

Factores de bioconcentración en las raíces de las plantas: denominado factor de bioacumulación (FB) (Montano et al., 2022), es la relación entre la concentración de metales de la raíz de la planta y la concentración de metales del suelo (Yoon et al., 2006).

$$FB_{PA} = \frac{C_{raiz}}{C_{Suelo}} \quad (2)$$

$FB_{PA}$ : Factor de bioacumulación en la raíz

$C_{Raiz}$ : Concentración del metal en la raíz

$C_{suelo}$ : Concentración del metal en el suelo

Kabata & Pendias, (2001) establece los siguientes rangos para el FB:

> 10: muy fuertemente acumulado

1 a 10: fuertemente acumulado

0.1 a 1.0: absorción moderada

0.01 a 0.1: absorción débil

0.001 a 0.01: muy débil

Baker, (1981) refiere la categorización de la planta según el FBC, como:

Si el  $FB < 1$  la planta es excluyente

Si el  $1 < FB < 10$  la planta es acumuladora

Si el  $FB > 10$  la planta es hiperacumuladoras

#### **2.2.16.2. Factor de traslocación (FT)**

Este coeficiente de transferencia está relacionado con la acumulación de metales en la parte aérea con respecto a la raíz (Montano et al., 2022) y se utiliza para medir la eficiencia de las plantas en la traslocación de metales pesados desde la raíz hacia la parte aérea (Sun et al., 2008).

$$FT = \frac{C_{PA}}{C_{raiz}} \quad (3)$$

FT: Factor de traslocación

$C_{PA}$ : Concentración del metal en la parte aérea (tallos y hojas)

$C_{suelo}$ : Concentración del metal en la raíz

Baker, (1981) establece las siguientes categorías para el factor de traslocación:

Si el  $FT < 1$  la planta es excluyente

Si el  $1 < FT < 10$  la planta es acumuladora

Si el  $FT > 10$  la planta es hiperacumuladoras

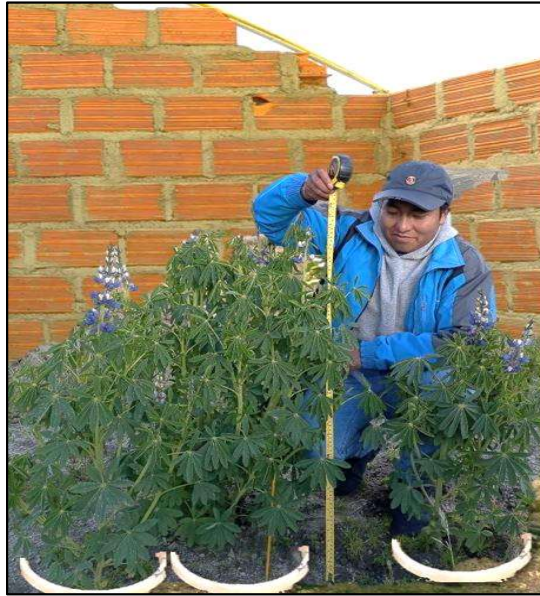
#### **2.2.17. *Lupinus mutabilis***

El *Lupinus mutabilis* es una especie leguminosas andinas, lo cual tolera el estrés hídrico, tiene la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico en el suelo, por lo cual es ideal para el sistema de cultivo agroecológicos u orgánicos y absorbe metales pesados de los suelos (Garay, 2015).

Se caracteriza por tener elevado contenido de proteína y ácidos grasos, entre otros, que la constituyen en una excelente alternativa para la nutrición humana y animal (Papuico, 2020). Aunque la planta se originó a lo largo de los Andes, actualmente se encuentra únicamente en zonas andinas de Ecuador, Perú y Bolivia, con cierto desarrollo agronómico y agroindustrial (Ortega et al., 2010), se destaca por ser resistente a condiciones adversas, como plagas, enfermedades, sequías y heladas. Sus semillas ofrecen una disposición de

proteínas vegetales que son aprovechadas en diversos procesos artesanales (Jacobsen & Mujica, 2006).

Tiene un tallo único de forma cilíndrica, ligeramente aplanado, pero las hojas tienen forma de láminas de tipo digitado con un número variable de folíolos, las flores se presentan en forma verticilada a modo de inflorescencia, el fruto está constituido por una vaina, con un tamaño variable (Tapia, 2015).



*Figura 1* Especies en floración *Lupinus mutabilis*

**Taxonomía** según Tapia, (2015)

**Reino:** Vegetal

**División:** Fanerógama

**Clase:** Dicotiledónea

**Orden:** Fabales

**Familia:** Fabaceae

**Tribu:** Genisteae

**Género:** *Lupinus*

**Especie:** *Lupinus mutabilis*

### 2.2.18. *Vicia faba*

La *Vicia faba* tiene porte recto y erguido, con tallos fuertes y angulosos de hasta 1.6 m de altura, sus hojas aparecen en el tallo alternadamente, son compuestas

paripinnadas, los foliolos son de forma oval redondeada, color verde oscuro (Confalone, 2008), lo cual es buen fijador de nitrógeno (INIA, 2013), y puede absorber metales pesados,

Se caracteriza por ser una fuente importante de proteína vegetal, y es un cultivo básico en la dieta alimenticia de la población rural (Aldana, 2010), el cual se puede consumir en su estado tierno o verde en sopas o en recados con carne, como también el grano tostado observándose su venta en los mercados del altiplano, el consumo en verde, ocupa el mayor porcentaje de la venta de esta leguminosa (Horque, 2004).



*Figura 2* Especies en floración *Vicia faba*

**Taxonomía** según Horque, (2004)

**Reino:** Plantae

**División:** Magnoliophyta

**Clase:** Magnoliopsida

**Orden:** Fabales

**Familia:** Fabaceae

**Tribu:** Fabeae

**Género:** *Vicia*

**Especie:** *Vicia faba*

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. **Ámbito de estudio**

Se tomaron las muestras de suelo del sector Pallcapampa, distrito y provincia de Huancané, departamento de Puno, a una altitud de 3800 msnm, latitud sur 15°15'16.2"S y longitud oeste 69°52'08.3"W.

#### 3.2. **Población y muestra**

La población de estudio fueron los suelos del sector Pallcapampa de un área de 850 m<sup>2</sup> y las especies de *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba*.

Las muestras de suelo, se recogieron del sector Pallcapampa, distrito de Huancané, utilizando el tipo de muestreo aleatorio, las mismas que fueron utilizadas para la formación de unidades experimentales para cada especie de *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* en un ambiente controlado, en la investigación se aplicó el muestreo no probabilístico de dichas especies.

#### 3.3. **Materiales y reactivos**

##### 3.3.1. **Materiales y equipos**

Semillas de *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* (Certificado por INIA), GPS digital, 24 macetas, bolsas zip, cooler, tijeras, fiolas (pírex) de 5 mL y 10 mL, pipeta (pírex) de 5 mL y 10 mL, probeta (pírex) de 100 mL, matraz (pírex), vasos de precipitado (pírex) de 150 mL, luna de reloj, crisoles de porcelana, pinzas de metal, bisturí, balanza analítica, espectrofotómetro de absorción atómica de técnica de flama y generación de hidruros (ANALYTIC JENNA novAA 400 P), inyector automático (Autosampler ASC-6100), balón de argón de 99.999% de pureza, computadora, mufla, plancha térmica.

### 3.3.2. Reactivos

Solución de cadmio 1000 mg / L, ácido clorhídrico HCl al 20 %, ácido clorhídrico HCl al 5 %, diluyente, ácido nítrico HNO<sub>3</sub> (4 M), agua destilada.

### 3.4. Metodología por objetivos

#### 3.4.1. Determinación de la concentración de cadmio en áreas contaminadas en el sector Pallcapampa, distrito de Huancané

Se realizó el muestreo no probabilístico del tipo de Muestreo de Comprobación de la Remediación (MC), para áreas de contaminación de forma regular menores a 1 000 m<sup>2</sup>, cuyas muestras se realizan en cada pared (4) y una en el fondo (1), haciendo un total 5 muestras, la cual consistente en la remoción de suelos contaminados (MINAM, 2014).



**Figura 3** Localización de puntos de muestreo del sector Pallcapampa de forma regular: forma de trapecio.

Fuente : (Google, 2023)

Se tomaron a 30 cm de profundidad del suelo cinco muestras, se aplicó el cuarteo para que cada una de las muestras sean representativas en el sector Pallcapampa, se transportaron en cooler las muestras dentro de las bolsas zip completamente identificadas.

Luego las muestras fueron transportados al Laboratorio RHLAB S.A.C de la ciudad de Juliaca para su análisis respectivo de la concentración de cadmio (Método de ensayo \*7003 EPA 200.7 determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP – OES).



### **3.4.2. Determinación de la concentración de cadmio en las especies *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* en ambiente controlado en el sector Pallcapampa, distrito de Huancané.**

#### **a) Vivero**

El vivero ubicado en la comunidad de Yanaoco es de ladrillo y techo agofilm, tiene un tanque de agua para el riego de especies a investigar, la temperatura máxima fue de 24 °C y la mínima de 10 °C durante el día en la temporada de lluvia, la humedad relativa máxima fue de 80 % y la mínima de 60 %.

#### **b) Preparación del sustrato**

En vista que en el suelo se halló bajas concentraciones de cadmio se vio por conveniente la contaminación sintética del mismo, la metodología fue realizada por Hernández, (2016) y Maguiña, (2017), la cual consiste en la adición de la solución de cadmio en macetas, en los respectivos tratamientos mediante el riego como se hizo en la presente investigación de 2.5, 5.0 y 10.0 mg Cd/kg suelo con su tratamiento control que es el suelo de sector Pallcapampa y a tres repeticiones por especie.

#### **c) Siembra de especies**

Las especies fueron adquiridas de centro experimental INIA completamente certificada por SENASA con registro productor de semilla N° 072-2021-AG-SENASA, por lo cual se sembraron 3 semillas de *Lupinus mutabilis* por unidad experimental (maceta) según Maguiña, (2017) y se sembraron 2 a 3 semillas de *Vicia faba* por unidad experimental (maceta) según Aldana, (2010), para garantizar el desarrollo óptimo de las especies por maceta, se regó cada dos días (Sangthong et al., 2016), el pH del suelo de las macetas en el vivero fue de 6.5, para luego evaluar la remoción de cadmio en suelos por las especies, propuesta por (Volke & Velasco, 2002).

Se midió la altura, luego se retiró la tierra de las especies desarrolladas lavándolo con agua destilada, para que se pueda separar en tallos, hojas y raíz, por consiguiente fueron colocadas en las bolsas zip etiquetadas adecuadamente de 500 a 600 g por muestra, luego se transportó en cooler al laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano Puno donde se tomó como guía la

metodología hecha en la investigación de Suaña, (2018), para el análisis de las muestras preparadas de la concentración de Cd fueron transportados al Laboratorio RHLAB S.A.C de la ciudad de Juliaca para su análisis respectivo, las concentraciones de cadmio en especies (Método de ensayo aplicado \*5090 determination of trace elements in food by Inductively Coupled Plasma - Mass spectrometry)

**d) El procedimiento fue el siguiente:**

Las muestras de las especies de *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* fueron previamente lavados las raíces, tallos, hojas, lo cual fueron secadas a 60 °C en la estufa, se pesaron 50 g y se colocaron 10 g en crisoles de porcelana previamente identificados, lavados con HCl 5 % y agua bidestilada, luego se carbonizaron en flama hasta la ausencia del humo, después se calcinaron en una mufla a 600 °C, las cenizas obtenidas fueron tratadas con aproximadamente 5 mL de HCl 20 % v/v y filtradas en un matraz de aforado de 25 mL, lo cual se transfirió a un recipiente de polipropileno con capacidad de 50 mL, previamente lavado con agua bidestilada cuyo proceso se hizo en la Universidad Nacional del Altiplano Puno en la Facultad de Ciencias Agrarias en la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, donde se preparó un blanco reactivo consistente en 5 mL de HCl 20% aforando a 25 mL con agua bidestilada, para su análisis por espectrofotometría de absorción atómica se envió al laboratorio RHLAB S.A.C de la ciudad de Juliaca completamente refrigeradas a 4 °C y completamente etiquetadas.

**3.4.3. Determinación del factor de bioacumulación y traslocación de *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* en raíz, tallo y hojas en el sector Pallcapampa, distrito de Huancané**

**3.4.3.1.El factor de bioacumulación**

El factor de bioacumulación mide la capacidad de extracción o acumulación del contaminante por las partes de las plantas del suelo.

**a) Factor de bioacumulación en la parte aérea (tallo y hojas)**

El factor de bioacumulación en la parte aérea se calcula con la siguiente fórmula.

$$FB_{PA} = \frac{C_{PA}}{C_{Suelo}} \quad (4)$$

FB<sub>PA</sub>: Factor de bioacumulación en la parte aérea (tallos y hojas)

C<sub>PA</sub>: Concentración del metal en la parte aérea (tallos y hojas)

C<sub>suelo</sub>: Concentración del metal en el suelo

#### b) Factor de bioacumulación en la raíz

El factor de bioacumulación en la raíz se calcula con la siguiente fórmula.

$$FB_{PA} = \frac{C_{raiz}}{C_{Suelo}} \quad (5)$$

FB<sub>PA</sub>: Factor de bioacumulación en la raíz

C<sub>Raiz</sub>: Concentración del metal en la raíz

C<sub>suelo</sub>: Concentración del metal en el suelo

#### 3.4.3.2. Factor de traslocación

El factor de traslocación se calcula con la siguiente fórmula. ya sea para tallo, hojas, flores, semillas o frutos.

$$FT = \frac{C_{PA}}{C_{raiz}} \quad (6)$$

FT: Factor de traslocación

C<sub>PA</sub>: Concentración del metal en la parte aérea (tallos y hojas)

C<sub>suelo</sub>: Concentración del metal en la raíz

### 3.5. Hipótesis de la investigación

#### 3.5.1. Hipótesis general

Los factores de bioacumulación y traslocación de cadmio en *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* son mayores a 1 clasificando a estas especies como bioacumuladoras en áreas contaminadas del sector Pallcapampa, distrito de Huancané.

### 3.5.2. Hipótesis específicos

- La concentración total de cadmio en suelos del sector Pallcapampa superan el promedio de los estándares de calidad ambiental para suelos agrícolas 1.4 mg/kg.
- Las especies *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* bioacumulan cadmio en raíz, tallo y hojas de suelos contaminados por este metal en el sector Pallcapampa, distrito de Huancané.
- El factor de bioacumulación y traslocación de cadmio en las especies *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* son mayores a 1 clasificandolos como especies bioacumuladoras.

### 3.6. Técnicas estadísticas para el procesamiento y análisis de los datos

El análisis estadístico se hizo en MS Excel 2016, con un diseño completamente al azar con arreglo factorial de dos por cuatro con tres repeticiones al similar que la investigación de Lorenzo et al., (2019), los factores son las especies y los tratamientos de cadmio, se calculó el Fc con ANOVA, la prueba de tukey para las comparaciones entre tratamientos obtenidos de la investigación.

#### 1. Modelo estadístico

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \tau\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (7)$$

$$i = 1, 2, \dots, t$$

$$j = 1, 2, \dots, r$$

$$k = 1, 2, \dots, s$$

$Y_{ijk}$  = es la variable respuesta de la k-ésima muestral (subunidad) de la j-ésima unidad experimental sujeta al i-ésimo tratamiento.

$\mu$  = la medida general poblacional o constante común.

$\tau_i$  = es el verdadero efecto del i-ésimo tratamiento.

$\beta_j$  = es el verdadero efecto del j-ésimo bloque.

$\tau\beta_{ij}$  = es el efecto verdadero de la j-esima unidad experimental sujeta al i-esimo tratamiento.

$\varepsilon_{ijk}$  = es el verdadero efecto aleatorio del error muestral en la k-ésima subunidad, de la j-ésima unidad experimental sujeta al i-ésimo tratamiento

## 2. Planteamiento de la hipótesis

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j$$

## 3. Nivel de significación

$$\alpha = 0.01$$

## 4. Estadístico de prueba

Se calcula el valor de  $F_c$  a través del Análisis de Varianza.

**Tabla 2**

*Cálculo de  $F_c$  a través del Análisis de Varianza*

F. de Variación	G.L.	S.C	C. M.	$F_c$	C. M.
Bloques	r-1	$\sum_{j=1}^r \frac{Y_j^2}{ts} - \frac{Y_{...}^2}{trs}$	$\frac{S C_{\text{Bloque}}}{r-1}$	$\frac{C M_{\text{Bloque}}}{C M_{EE}}$	$\sigma_s^2 + s\sigma_e^2 + ts\sigma_\beta^2$
Tratamientos	t-1	$\sum_{i=1}^t \frac{Y_i^2}{ts} - \frac{Y_{...}^2}{trs}$	$\frac{S C_{\text{Trat.}}}{t-1}$	$\frac{C M_t}{C M_{EE}}$	$\sigma_s^2 + s\sigma_e^2 + rs\sigma_r^2$
Error experimental (EE)	(r-1)(t-1)	Por diferencia	$\frac{S C_{E.Exp.}}{(t-1)(r-1)}$	$\frac{C M_{EE}}{C M_{EM}}$	$\sigma_s^2 + s\sigma_e^2$
Error de muestreo (EM)	tr(s-1)	$\sum_{i,j} \left( \sum_{j=1}^r Y_{ijk}^2 - \frac{Y_{ij}^2}{s} \right)$	$\frac{S C_{EM}}{tr(s-1)}$		$\sigma_s^2$
Total	trs-1	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^s Y_{ijk}^2 - \frac{Y_{...}^2}{s}$			

## 5. Región crítica

A un nivel de significación  $\alpha = 0.01$ , con a-1, N-a grados de libertad.

## 6. Conclusión

Si  $F_c > F_{\alpha, a-1, N-a}$  se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

### 3.6.1. Comparación de parejas de medias de tratamientos

Se utilizará la prueba de Tukey, cuyo valor es:

$$T_{\alpha} = q_{\alpha}(a, f)S_{\bar{y}_i} \quad (8)$$

La prueba declara dos medias significativas diferentes si el valor absoluto de sus diferencias excede a  $T_{\alpha}$ .

### 3.6.2. Prueba de hipótesis con la distribución t de student para la media poblacional

El estadístico de prueba está dado por:

$$t_c = \frac{\bar{x} - \mu_0}{S/\sqrt{n}} \quad (9)$$

Donde:

$\bar{x}$ : Media de la muestra

S: Desviación estándar de la muestra

n: Tamaño de muestra

$\mu_0$ : parámetro poblacional

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

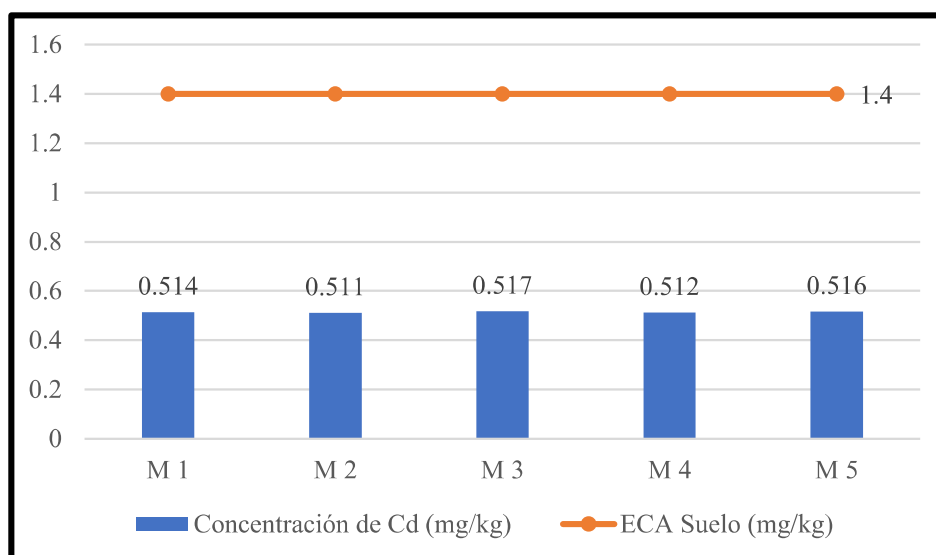
#### 4.1. Concentración de cadmio en muestras de suelos del sector Pallcapampa distrito de Huancané

*Tabla 3*

*Concentración de cadmio (Cd en mg/kg) en suelos provenientes del sector Pallcapampa, Distrito y Provincia de Huancané en la región Puno, 2021, comparación con el ECA Suelo agrícolas – D.S. 011 – 2017 MINAM)*

<b>Código de Muestras</b>	<b>Coordenada</b>	<b>Concentración * 7003 Cd mg/kg</b>	<b>ECA Suelos Agrícolas Perú</b>
SPHP01	-15.252644 -69.870711	0.514	
SPHP02	-15.252914 -69.870703	0.511	
SPHP03	-15.252977 -69.870923	0.517	1.4 mg/kg
SPHP04	-15.252734 -69.871027	0.512	
SPHP05	-15.252785 -69.870866	0.516	

En la Tabla 3 se presenta el resultado del análisis de contenido cadmio para las cinco muestra de suelos provenientes del sector Pallcapampa, en cuanto a la concentración de Cd, éste reportó cantidades que oscilaban en un rango de 0.511 a 0.517 mg Cd/kg suelo, valores que no superan los ECAS que es de 1.4 mg/kg, los resultados son concordantes con los reportados por Achate, (2020), quien reportó concentraciones de 0.0082 a 0.0736 mg/kg valores que demuestran un bajo contenido de Cd inferiores a los reportados en ECA para suelos agrícolas - D.S. 011-2017 MINAM), lo cual se encuentran dentro de los valores de las Normas Peruanas.



**Figura 5** Concentración de cadmio (mg / kg) en el suelo en áreas contaminadas del sector Pallcapampa

**Tabla 4**

*Prueba de hipótesis del promedio en muestras de suelo*

Valor de la prueba	Media	Desviación Estándar	t	Grados de libertad	Sig.
$\mu = 1.4$	$\bar{x} = 0.514$	S=0.00255	-777.073	4	1.00

La prueba de hipótesis de promedio muestral de la concentración de cadmio (mg/kg) en suelos es igual a 0.514 mg/kg, con una desviación estándar de 0.00255 mg/kg y un p igual a  $1 > 0.05$ , demostrando que la concentración de Cd es menor a los valores reportados por el ECA (1.4 mg/kg). Evidenciando que los suelos presentan bajas concentraciones de Cd pese a que son receptores de roca fosfórica, por lo que se presume que las precipitaciones pluviales, están repercutiendo directamente en la lixiviación y precipitación de Cd (Calla, 2021)

Por otro lado, Mahecha et al., (2017) mencionan que las especies que se encuentran en la zona podría estar bioacumulando Cd; así también, la rotación de cultivos podrían estar absorbiendo metales del suelo (Liu et al., 2016), ya que estas especies forrajeras mejoran la salud del suelo, optimizan los nutrientes en el suelo y combate la presión de las plagas y las malezas (Dufour, 2015).

**4.2. Concentración de cadmio en las especies *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* en ambiente controlado en raíz, tallo y hojas**

Se presenta los resultados de un control T0 y tres tratamientos T1, T2, T3 de 2.5, 5.0, 10.0 mg de Cd/kg de suelo respectivamente, con tres repeticiones para las especies de *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba*.



**Figura 6** Muestra de las raíces de las especies de *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba*

**Tabla 5**

Concentración de cadmio (ppm) en *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* en ambiente controlado en raíz

Bloque	Sub muestreo o repetición	Tratamientos ppm			
		R01 TES	R01 2.5 Cd	R01 5.0 Cd	R01 10.0 Cd
<b>Bloque 1</b> <i>Lupinus mutabilis</i>	1	0.324	2.326	3.888	6.846
	2	0.333	2.336	3.872	6.853
	3	0.327	2.330	3.879	6.848
<b>Bloque 2</b> <i>Vicia faba</i>	1	0.424	2.436	4.388	7.486
	2	0.430	2.443	4.372	7.473
	3	0.428	2.439	4.379	7.481

En la Tabla 5 se presenta los resultados de las concentraciones de cadmio en raíces de las especies de *Lupinus mutabilis* los cuales fueron de 0.333, 2.336, 3.888, 6.853 ppm y en *Vicia faba* 0.430, 2.439, 4.388, 7.486 ppm respectivamente, donde *Vicia faba* concentra mayor Cd en la raíz que la *Lupinus mutabilis*, asimismo, Jara et al., (2014), menciona que *Lupinus ballianus* acumula una gran concentración de cadmio en las raíces 8.9 mg de cadmio/kg, Maguiña, (2017) indica que *Lupinus mutabilis* acumula 3.13 mg/kg en las raíces, y García et al., (2012) menciona que, en *Vicia faba*, el órgano que absorbió más Cd fue raíz, lo que es similar en la presente investigación donde *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* acumulan mayor en las raíces y una concentración menor en tallos y hojas, como se aprecia el desarrollo de las raíces en la figura 6.

#### **Análisis de varianza para el experimento de la presencia de cadmio en las raíces de las especies en el suelo contaminado**

**Tabla 6**

*Tabla ANOVA en Lupinus mutabilis y Vicia faba en ambiente controlado para raíz*

<b>Casos</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Df</b>	<b>Cuadros medios</b>	<b>Fc</b>	<b>Ft</b>
<b>Bloque</b>	0.672	1	0.672	6.0540541	34.12
<b>Tratamiento</b>	148.899	3	49.633	447.14414	29.46
<b>Error experimental</b>	0.332	3	0.111		
<b>Error de muestreo</b>	5.053e -4	16	3.158e -5		

*Nota: tipo III suma de cuadrados*

En la Tabla 6 se presenta el análisis de varianza de la absorción de cadmio en la raíz de *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* a diferentes tratamientos. Por tanto, al realizar la hipótesis se obtiene que el valor de  $F_c > F_t$ , indicando que existe diferencias en la aplicación de los tratamientos al similar que las investigaciones de Jara et al., (2014), Maguiña, (2017), García et al., (2012), Suaña, (2018), Chuptaya et al., (2022), Medina, (2022) y Orozco et al., (2022),

donde el mejor tratamiento fue T1 de 2.5 Cd que se acumuló en un mayor porcentaje en las raíces.

**Tabla 7**

*Tabla descripción bloque tratamiento en Lupinus mutabilis y Vicia faba en ambiente controlado para raíz*

<b>Descripción Bloque - Tratamientos</b>				
<b>Bloque</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Medio</b>	<b>SD</b>	<b>N</b>
<b>1</b>	1	0.328	0.005	3
	2	2.331	0.005	3
	3	3.880	0.008	3
	4	6.849	0.004	3
<b>2</b>	1	0.427	0.003	3
	2	2.439	0.004	3
	3	4.380	0.008	3
	4	7.480	0.007	3

*Nota: Valor de P ajustado para comparar una familia de 4*

En la Tabla 7 se presenta las descripciones de bloque - tratamientos de la absorción de cadmio en la raíz, para ello se realiza las comparaciones entre tratamientos para determinar si existen tratamientos iguales. Según el promedio no se encuentran tratamientos que den porcentajes de acumulación de cadmio similares al aplicar los tratamientos al similar que las investigaciones de Jara et al., (2014), Maguiña, (2017), García et al., (2012), Suaña, (2018), Chuptaya et al., (2022), Medina, (2022) y Orozco et al., (2022).

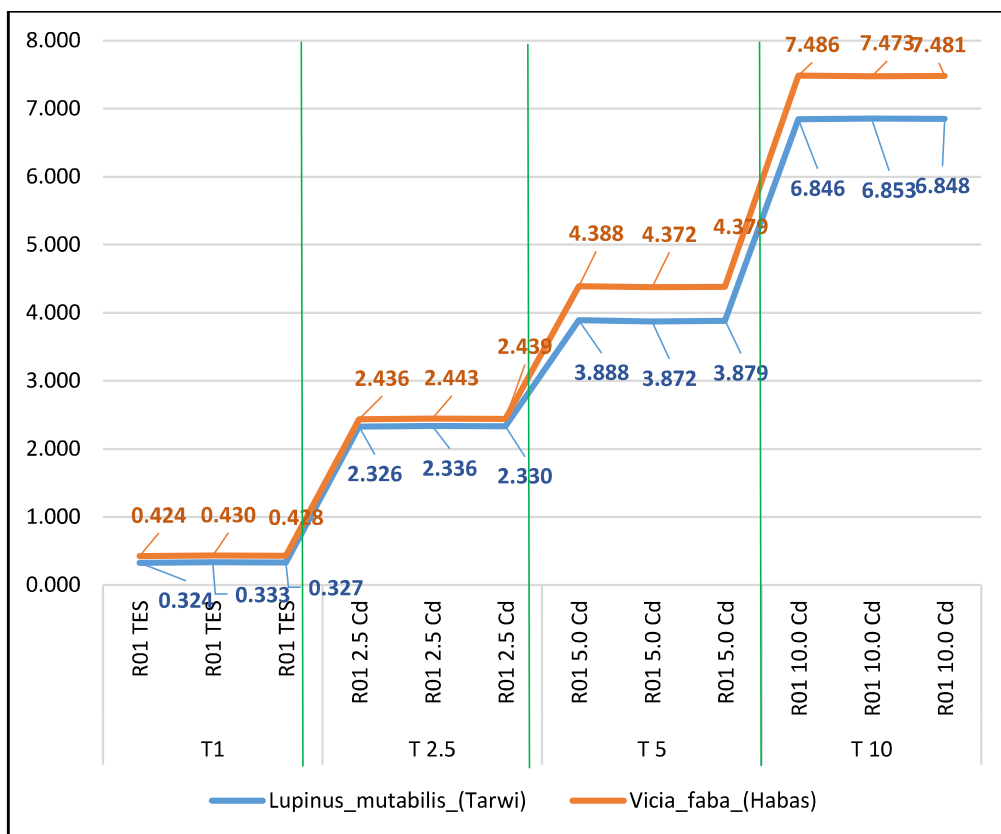
**Tabla 8**

*Tabla prueba de tukey en Lupinus mutabilis y Vicia faba en ambiente controlado para raíz en tratamientos*

<b>Comparaciones P tukey - Tratamientos</b>				
	<b>Diferencia significativa</b>	<b>SE</b>	<b>t</b>	<b>P tukey</b>
<b>1 2</b>	-2.007	0.003	-618.659	<0 .001
<b>3</b>	-3.752	0.003	-1156.364	< 0.001
<b>4</b>	-6.787	0.003	-2091.697	<0 .001
<b>2 3</b>	-1.745	0.003	-537.705	< 0.001
<b>4</b>	-4.780	0.003	-1473.039	< 0.001
<b>3 4</b>	-3.035	0.003	-935.334	< 0.001

*Nota: Valor de P ajustado para comparar una familia de 4, los resultados se promedian sobre los niveles de: bloque*

En la Tabla 8 se presenta la prueba de tukey de la absorción de cadmio en la raíz a diferentes concentraciones de la aplicación de un control T0 y tratamientos T1, T2, T3 de 2.5, 5, 10 mg Cd/kg de suelo. Por tanto, al realizar la hipótesis se obtiene que el valor de  $p < 0.01$ , indicando este valor que existe diferencias en la aplicación de los tratamientos al similar que las investigaciones de Jara et al., (2014), Maguiña, (2017), García et al., (2012), Suaña, (2018), Chuptaya et al., (2022), Medina, (2022) y Orozco et al., (2022).



**Figura 7** Concentración promedio de cadmio (ppm) en raíces de las especies en ambiente controlado

**Tabla 9**

Concentración de cadmio (ppm) en *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* en ambiente controlado en tallo

Bloque	Sub muestreo o repetición	Tratamientos ppm			
		T01 TES	T01 2.5 Cd	T01 5.0 Cd	T01 10.0 Cd
<b>Bloque 1</b> <i>Lupinus mutabilis</i>	1	0.209	2.126	3.857	6.637
	2	0.213	2.123	3.863	6.629
	3	0.207	2.124	3.859	6.632
<b>Bloque 2</b> <i>Vicia faba</i>	1	0.212	2.137	4.177	7.406
	2	0.206	2.131	4.169	7.411
	3	0.207	2.135	4.174	7.414

En la Tabla 10 se presenta los resultados de las concentraciones de cadmio en tallos de las especies de *Lupinus mutabilis* los cuales fueron de 0.209, 2.126, 3.863, 6.637 ppm y en *Vicia faba* 0.212, 2.137, 4.177, 7.414 ppm respectivamente donde *Vicia faba* concentra mayor Cd en los tallos que la de *Lupinus mutabilis*, Jara et al., (2014), menciona que *Lupinus ballianus* acumula una concentración considerable en los tallo, al similar que las investigaciones de Maguiña, (2017), Suaña, (2018), Chuptaya et al., (2022), Medina, (2022) y Orozco et al., (2022), donde obtuvieron concentraciones considerables en tallos en las especies de *Lupinus mutabilis*, *Helianthus annuus*, *Schinus molle* y *Acacia macracantha*, *Capsicum annum L.* y *Solanum peruvianum L.*, lo que es similar en la presente investigación, donde *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* acumulan concentraciones considerables en los tallos.

Asimismo, García et al., (2012) menciona que, en *Vicia faba*, el órgano que absorbió una concentración considerable fue las hojas, lo cual contradice la presente investigación, aunque otros autores como Zu et al., (2017), al evaluar la biomasa de *Vicia faba* en monocultivo o intercalado donde disminuye la biomasa con el aumento de las concentraciones de Cd, lo cual no varió la biomasa en la investigación, realizada como se puede ver en la figura 8.



**Figura 8** Muestra de tallos de las especies de *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba*

**Análisis de varianza para el experimento unifactorial de la presencia de cadmio en los tallos de las especies en el suelo contaminado**

**Tabla 10**

*Tabla ANOVA en Lupinus mutabilis y Vicia faba en ambiente controlado para tallos*

<b>Casos</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Df</b>	<b>Cuadros medios</b>	<b>Fc</b>	<b>Ft</b>
<b>Bloque</b>	0.454	1	0.454	2.27	34.12
<b>Tratamiento</b>	151.679	3	50.560	252.8	29.46
<b>Error experimental</b>	0.601	3	0.200		
<b>Error de muestreo</b>	1.793e -4	16	1.121e -5		

*Nota: tipo III suma de cuadrados*

En la Tabla 10 se presenta el análisis de varianza de la absorción de cadmio en los tallos de *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* a diferentes tratamientos. Por tanto, al realizar la hipótesis se obtiene que el valor de  $F_c > F_t$ , indicando que existe diferencias en la aplicación de los tratamientos al similar que las investigaciones de Jara et al., (2014), Maguiña, (2017), García et al., (2012), Suaña, (2018), Chuptaya et al., (2022), Medina, (2022) y Orozco et al., (2022), donde el mejor tratamiento fue T1 de 2.5 Cd que se acumuló una concentración considerable en las tallos, por lo tanto García et al., (2012) contradice la presente investigación porque el órgano que absorbió una concentración considerable fue las hojas en su investigación.

**Tabla 11**

*Tabla descripción bloque tratamiento en Lupinus mutabilis y Vicia faba en ambiente controlado para tallos*

<b>Descripción Bloque - Tratamientos</b>				
<b>Bloque</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Medio</b>	<b>SD</b>	<b>N</b>
<b>1</b>	1	0.210	0.003	3
	2	2.124	0.002	3
	3	3.860	0.003	3
	4	6.633	0.004	3
<b>2</b>	1	0.208	0.003	3
	2	2.134	0.003	3
	3	4.173	0.004	3
	4	7.410	0.004	3

*Nota: Valor de P ajustado para comparar una familia de 4*

En la Tabla 11 se presenta las descripciones de bloque - tratamientos de la absorción de cadmio en tallos, para ello, se realiza las comparaciones entre tratamientos para determinar si existen tratamientos iguales. Según el promedio no se encuentran tratamientos que den porcentajes de acumulación de cadmio similares al aplicar los tratamientos al similar que las investigaciones de Jara et al., (2014), Maguiña, (2017), García et al., (2012), Suaña, (2018), Chuptaya et al., (2022), Medina, (2022) y Orozco et al., (2022).

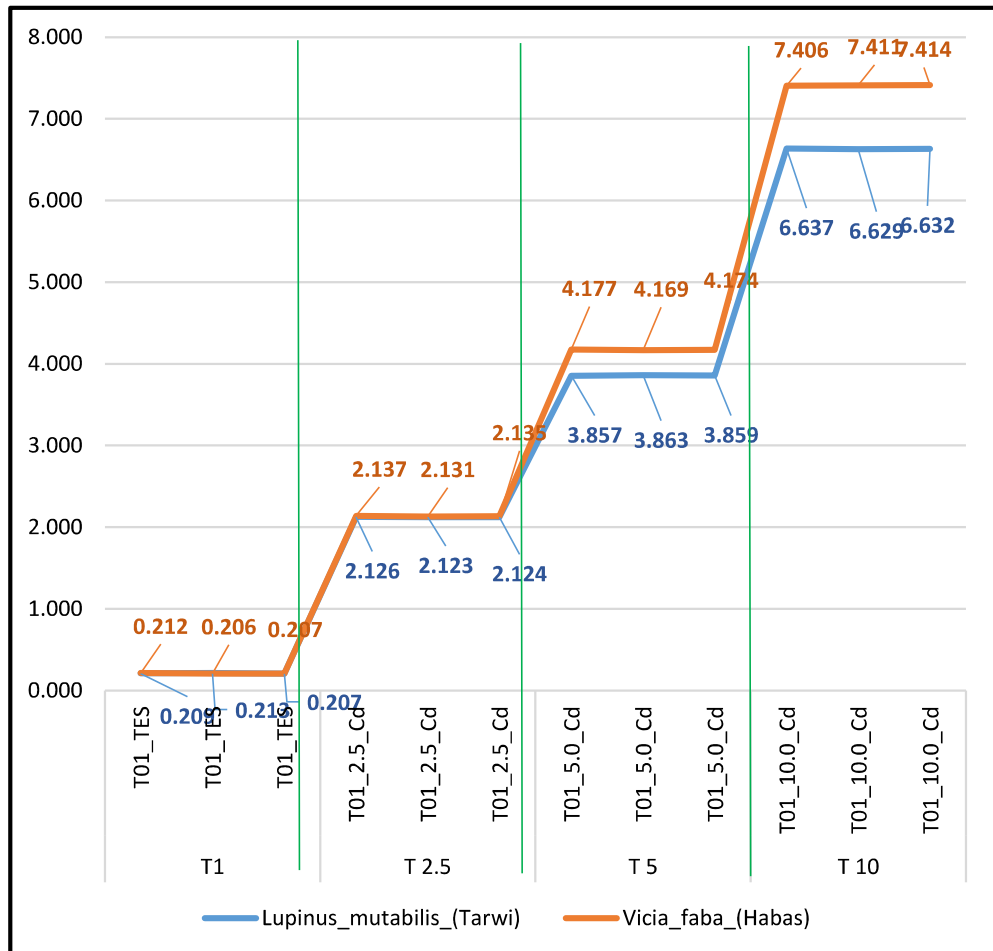
**Tabla 12**

*Tabla prueba de tukey en Lupinus mutabilis y Vicia faba en ambiente controlado para tallos en tratamientos*

<b>Comparaciones P tukey - Tratamientos</b>				
<b>Diferencia significativa</b>	<b>SE</b>	<b>t</b>	<b>P tukey</b>	
<b>1 2</b>	-1.920	0.002	-993.497	<0 .001
<b>3</b>	-3.807	0.002	-1969.836	< 0.001
<b>4</b>	-6.813	0.002	-3524.493	<0 .001
<b>2 3</b>	-1.887	0.002	-976.338	< 0.001
<b>4</b>	-4.892	0.002	-2530.995	< 0.001
<b>3 4</b>	-3.005	0.002	-1554.657	< 0.001

*Nota: Valor de P ajustado para comparar una familia de 4, los resultados se promedian sobre los niveles de: bloque*

En la Tabla 12 se presenta la prueba de tukey de la absorción de cadmio en tallos a diferentes concentraciones de la aplicación de un control T0 y tratamientos T1, T2, T3 de 2.5, 5, 10 mg Cd/kg de suelo. Por lo tanto, al realizar la hipótesis se obtiene que el valor de  $p < 0.01$ , indicando este valor que existe diferencias en la aplicación de los tratamientos al similar que las investigaciones de Jara et al., (2014), Maguiña, (2017), García et al., (2012), Suaña, (2018), Chuptaya et al., (2022), Medina, (2022) y Orozco et al., (2022).



**Figura 9** Concentración promedio de Cadmio (ppm) en tallos de las especies en ambiente controlado

**Tabla 13**

Concentración de cadmio (ppm) en *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* en ambiente controlado en hojas

Bloque	Sub muestreo o repetición	Tratamientos ppm			
		H01 TES	H01 2.5 Cd	H01 5.0 Cd	H01 10.0 Cd
<b>Bloque 1</b> <i>Lupinus mutabilis</i>	1	0.008	1.112	3.348	6.256
	2	0.006	1.113	3.353	6.261
	3	0.007	1.110	3.349	6.257
<b>Bloque 2</b> <i>Vicia faba</i>	1	0.012	1.231	3.669	7.199
	2	0.013	1.225	3.671	7.204
	3	0.009	1.227	3.670	7.198

En la Tabla 13 se presenta los resultados de las concentraciones de cadmio en hojas de las especies de *Lupinus mutabilis* los cuales fueron de 0.008, 1.113, 3.353, 6.261 ppm y en *Vicia faba* 0.013, 1.231, 3.671, 7.204 ppm, respectivamente, donde *Vicia faba* concentra mayor Cd en las hojas que la *Lupinus mutabilis*, Jara et al., (2014), menciona que *Lupinus ballianus* acumula una menor concentración de cadmio en las hojas, similar a las investigaciones de Maguiña, (2017), Suaña, (2018), Chuptaya et al., (2022), Medina, (2022) y Orozco et al., (2022), donde obtuvieron menor concentración de cadmio en las hojas de las especies de *Lupinus mutabilis*, *Helianthus annuus*, *Schinus molle* y *Acacia macracantha*, *Capsicum annum L.* y *Solanum peruvianum L.*, lo que es similar en la presente investigación, donde *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* acumulan una concentración menor en hojas.

Además, García et al., (2012) menciona que, en *Vicia faba*, el órgano que absorbió una menor concentración fue los tallos, lo cual contradice la presente investigación, las especies empleadas en la fitorremediación tienen una gran capacidad de acumular metales pesados, las especies de *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* absorbieron el cadmio mayor en la raíz, tallo y hojas en todo el desarrollo de las especies, lo cual se concluye que son especies acumuladoras de cadmio en suelos contaminados.

La concentración de cadmio en las muestras de raíz, tallo y hojas, fueron por separado y determinadas por la metodología de espectrofotometría de absorción atómica, la cual fue empleada por Jara et al., (2014) y Suaña, (2018), aunque otros autores como Díaz et al., (2011), evaluaron a los tallos y hojas en forma conjunta como “biomasa aérea”. En la investigación, las concentraciones de Cadmio en todo el tratamiento fueron mayores en las raíces, seguidos de tallos y hojas a nivel de especies de *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba*.



**Figura 10** Muestra de hojas de las especies de *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba*

Zeng et al., (2020), Zehra et al., (2020), Ortiz et al., (2023), mencionan que las concentraciones de Cadmio no afectan cambios en la biomasa significativamente y Zhu et al., (2018), indica que hubo tolerancia de cadmio al similar que la presente investigación que no afecto la biomasa y tolero el cadmio las especies de *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* como se puede ver en la figura 10.

Sin embargo, De la Cruz et al., (2010), en su investigación, obtiene una mayor concentración de cadmio en los tallos (0.31 mg/kg), seguida de raíces y hojas de (0.28 y 0.25 mg/kg) de *Lupinus versicolor*, lo cual contradice la presente investigación, donde se logró obtener menor concentración en tallos y hojas.

**Análisis de varianza para el experimento uní factorial de la presencia de cadmio en las hojas de las especies en el suelo contaminado**

**Tabla 14**

*Tabla ANOVA en Lupinus mutabilis y Vicia faba en ambiente controlado para hojas*

<b>Casos</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Df</b>	<b>Cuadros medios</b>	<b>Fc</b>	<b>Ft</b>
<b>Bloque</b>	0.717	1	0.717	2.726236	34.12
<b>Tratamiento</b>	158.264	3	52.755	200.5894	29.46
<b>Error experimental</b>	0.789	3	0.263		
<b>Error de muestreo</b>	8.467e -5	16	5.292e -6		

*Nota: tipo III suma de cuadrados*

En la Tabla 14 se presenta el análisis de varianza de la absorción de cadmio en hojas de *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* a diferentes tratamientos. En consecuencia, al realizar la hipótesis se obtiene que el valor de  $F_c > F_t$ , indicando que existe diferencias en la aplicación de los tratamientos al similar que las investigaciones de Jara et al., (2014), Maguiña, (2017), García et al., (2012), Suaña, (2018), Chuptaya et al., (2022), Medina, (2022) y Orozco et al., (2022), donde el mejor tratamiento fue T1 de 2.5 Cd que se acumuló la menor concentración en las hojas, García et al., (2012) contradice la presente investigación porque el órgano que absorbió menor, fueron los tallos.

**Tabla 15**

*Tabla descripción bloque tratamiento en Lupinus mutabilis y Vicia faba en ambiente controlado para hojas*

<b>Descripción Bloque - Tratamientos</b>				
<b>Bloque</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Medio</b>	<b>SD</b>	<b>N</b>
<b>1</b>	1	0.007	0.001	3
	2	1.112	0.002	3
	3	3.350	0.003	3
	4	6.258	0.003	3
<b>2</b>	1	0.011	0.002	3
	2	1.228	0.003	3
	3	3.670	1.000e -3	3
	4	7.200	0.003	3

*Nota: Valor de P ajustado para comparar una familia de 4*

En la Tabla 15 se presenta las descripciones de bloque - tratamientos de la absorción de cadmio en las hojas, para ello se realiza las comparaciones entre tratamientos para determinar si existen tratamientos iguales. Según el promedio, no se encuentran tratamientos que den porcentajes de acumulación de cadmio similares al aplicar los tratamientos al similar que las investigaciones de Jara et al., (2014), Maguiña, (2017), García et al., (2012), Suaña, (2018), Chuptaya et al., (2022), Medina, (2022) y Orozco et al., (2022).

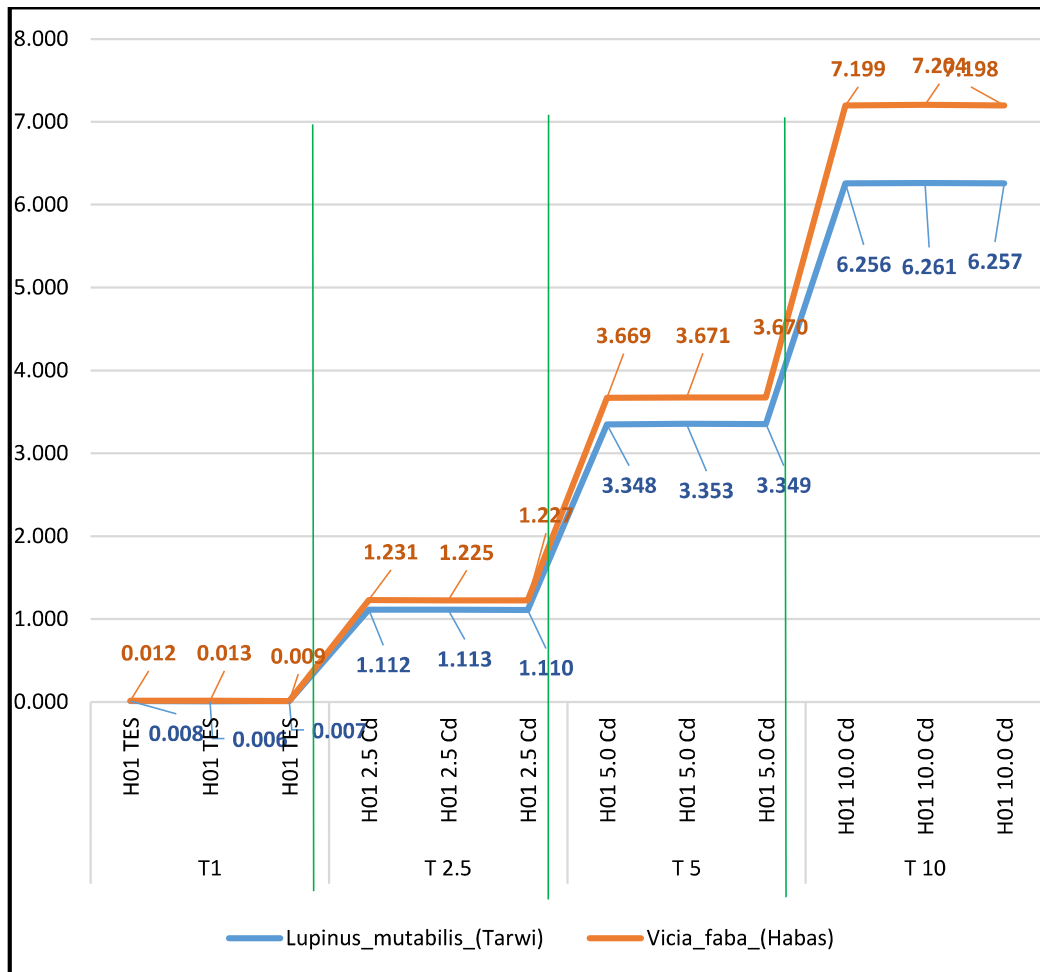
**Tabla 16**

*Tabla prueba de tukey en Lupinus mutabilis y Vicia faba en ambiente controlado para hojas en tratamientos*

<b>Comparaciones P tukey - Tratamientos</b>				
<b>Diferencia significativa</b>	<b>SE</b>	<b>t</b>	<b>P tukey</b>	
<b>1 2</b>	-1.160	0.001	-873.795	<0 .001
<b>3</b>	-3.501	0.001	-2635.942	< 0.001
<b>4</b>	-6.720	0.001	-5059.804	<0 .001
<b>2 3</b>	-2.340	0.001	-1762.147	< 0.001
<b>4</b>	-5.560	0.001	-4186.009	< 0.001
<b>3 4</b>	-3.219	0.001	-2423.862	< 0.001

*Nota: Valor de P ajustado para comparar una familia de 4, los resultados se promedian sobre los niveles de: bloque*

En la Tabla 16 se presenta la prueba de tukey de la absorción de cadmio en hojas a diferentes concentraciones de la aplicación de un control T0 y tratamientos T1, T2, T3 de 2.5, 5, 10 mg Cd/kg de suelo. En consecuencia, al realizar la hipótesis se obtiene que el valor de  $p < 0.01$ , indicando este valor que existe diferencias en la aplicación de los tratamientos al similar que las investigaciones de Jara et al., (2014), Maguiña, (2017), García et al., (2012), Suaña, (2018), Chuptaya et al., (2022), Medina, (2022) y Orozco et al., (2022).



**Figura 11** Concentración promedio de Cadmio (ppm) en hojas de las especies en ambiente controlado

**4.3. Factor de bioacumulación y traslocación de cadmio en las especies *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba***

**Tabla 17**

*Factor de Bioacumulación parte aérea en Lupinus mutabilis y Vicia faba*

Bloque	Sub muestreo o repetición	FB (aérea)			
		FB TES	FB 2.5 Cd	FB 5.0 Cd	FB 10.0 Cd
<b>Bloque 1</b> <i>Lupinus mutabilis</i>	1	0.422	1.295	1.441	1.289
	2	0.426	1.294	1.443	1.289
	3	0.416	1.294	1.442	1.289
<b>Bloque 2</b> <i>Vicia faba</i>	1	0.436	1.347	1.569	1.461
	2	0.426	1.342	1.568	1.462
	3	0.420	1.345	1.569	1.461

En la Tabla 17 se presenta los factores de bioacumulación en la parte aérea, *Lupinus mutabilis* cuyo rango de variación en el primero oscila entre 0.416 a 1.443; en *vicia faba* en la parte aérea fue de 0.420 a 1.569, de lo obtenido se concluye que  $FB > 1$ , indica que ambas especies son acumuladoras, lo cual es concordante con lo manifestado por Baker, (1981) y Kabata & Pendias, (2001).

Medina & Montano, (2014), en su investigación mencionan que el factor de bioacumulación de las especies de *Juncus arcticus* y *Cortaderia rudiusscula*, presentó valores de  $FB (\text{área}) > 1$ , al igual que las especies de *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* de la presente investigación que el  $FB (\text{área}) > 1$ , asimismo, Chuptaya et al., (2022), Medina, (2022) y Orozco et al., (2022), en sus investigaciones mencionan que el factor de bioconcentración de las especies de *Schinus molle* y *Acacia macracantha*, *Capsicum annum L.* y *Solanum peruvianum L.*, presentó valores de  $FB (\text{área}) < 1$ , la cual contradice la presente investigación.

**Tabla 18**

Tabla ANOVA de factor de bioacumulación en la parte aérea en *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba*

Casos	Suma de cuadrados	Df	Cuadros medios	Fc	Ft
<b>Bloque</b>	0.047	1	0.047	5.875	34.12
<b>Tratamiento</b>	4.392	3	1.464	183.0	29.46
<b>Error experimental</b>	0.025	3	0.008		
<b>Error de muestreo</b>	1.883e -4	16	1.177e -5		

*Nota:* tipo III suma de cuadrados

En la Tabla 18 se presenta el análisis de varianza del factor de bioacumulación en la parte aérea de *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* a diferentes tratamientos. En consecuencia, al realizar la hipótesis se obtiene que el valor de  $F_c > F_t$ , indicando que existe diferencias en la acumulación del metal en las especies al similar que las investigaciones de Medina & Montano, (2014), Chuptaya et al., (2022), Medina, (2022) y Orozco et al., (2022), todos los tratamientos bioacumulan el metal.

**Tabla 19**

Tabla descripción bloque tratamiento de bioacumulación en la parte aérea en *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba*

Descripción Bloque - Tratamientos				
Bloque	Tratamiento	Medio	SD	N
<b>1</b>	1	0.422	0.005	3
	2	1.294	8.000e -4	3
	3	1.442	0.001	3
	4	1.289	2.082e -4	3
<b>2</b>	1	0.427	0.008	3
	2	1.345	0.002	3
	3	1.569	6.110e -4	3
	4	1.461	5.132e -4	3

*Nota:* Valor de P ajustado para comparar una familia de 4

En la Tabla 19 se presenta las descripciones de bloque - tratamientos de la bioacumulación en la parte aérea, para ello se realiza las comparaciones entre tratamientos para determinar si existen tratamientos iguales. Según el promedio, no se encuentran bioacumulaciones en la parte aérea que den porcentajes similares al similar que las investigaciones de Medina & Montano, (2014), Chuptaya et al., (2022), Medina, (2022) y Orozco et al., (2022).

**Tabla 20**

*Tabla prueba de tukey de bioacumulación en la parte aérea en Lupinus mutabilis y Vicia faba por tratamientos*

<b>Comparaciones P tukey - Tratamientos</b>				
	<b>Diferencia significativa</b>	<b>SE</b>	<b>t</b>	<b>P tukey</b>
<b>1 2</b>	-0.895	0.002	-451.908	<0 .001
<b>3</b>	-1.081	0.002	-545.656	< 0.001
<b>4</b>	-0.951	0.002	-479.909	<0 .001
<b>2 3</b>	-0.186	0.002	-93.749	< 0.001
<b>4</b>	-0.055	0.002	-28.002	< 0.001
<b>3 4</b>	0.130	0.002	65.747	< 0.001

*Nota: Valor de P ajustado para comparar una familia de 4, los resultados se promedian sobre los niveles de: bloque*

En la Tabla 20 se presenta la prueba de tukey en la bioacumulación en la parte aérea a diferentes concentraciones de la aplicación de un control T0 y tratamientos T1, T2, T3 de 2.5, 5, 10 mg Cd/kg de suelo. En consecuencia, al realizar la hipótesis se obtiene que el valor de  $p < 0.01$ , indicando este valor que existe diferencias en la bioacumulación en la parte aérea al similar que las investigaciones de Medina & Montano, (2014), Chuptaya et al., (2022), Medina, (2022) y Orozco et al., (2022).

**Tabla 21***Factor de Bioacumulación de la raíz en Lupinus mutabilis y Vicia faba*

Bloque	Sub muestreo o repetición	FB (raíz)			
		FB TES	FB 2.5 Cd	FB 5.0 Cd	FB 10.0 Cd
<b>Bloque 1</b>	1	0.630	0.930	0.778	0.685
<i>Lupinus</i>	2	0.648	0.935	0.774	0.685
<i>mutabilis</i>	3	0.636	0.932	0.776	0.685
<b>Bloque 2</b>	1	0.825	0.974	0.878	0.749
<i>Vicia faba</i>	2	0.837	0.977	0.874	0.747
	3	0.833	0.976	0.876	0.748

En la Tabla 21 se presenta los factores de bioacumulación de la raíz, *Lupinus mutabilis* cuyo rango de variación en el primero oscila entre 0.630 a 0.935; en *vicia faba* en la raíz fue de 0.747 a 0.977, de lo obtenido se concluye que  $FB < 1$ , indica que ambas especies son acumuladoras, lo cual es concordante con lo manifestador por Baker, (1981) y Kabata & Pendias, (2001).

Medina & Montano, (2014), en su investigación mencionan que el factor de bioacumulación de las especies de *Juncus arcticus* y *Cortaderia rudiusscula*, presentó valores de  $FB$  (raíz)  $< 1$ , al igual que las especies de *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* de la presente investigación que el  $FB$  (raíz)  $< 1$ , así mismo Chuptaya et al., (2022), Medina, (2022) y Orozco et al., (2022), en sus investigaciones mencionan que el factor de bioconcentración de las especies de *Schinus molle* y *Acacia macracantha*, *Capsicum annum L.* y *Solanum peruvianum L.*, presentó valores de  $FB$  (raíz)  $> 1$ , la cual contradice la presente investigación.

**Tabla 22**

Tabla ANOVA de factor de bioacumulación en la raíz en *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba*

Casos	Suma de cuadrados	Df	Cuadros medios	Fc	Ft
<b>Bloque</b>	0.060	1	0.060	8.571429	34.12
<b>Tratamiento</b>	0.212	3	0.071	10.14286	29.46
<b>Error experimental</b>	0.020	3	0.007		
<b>Error de muestreo</b>	2.536e -4	16	1.585e -5		

*Nota:* tipo III suma de cuadrados

En la Tabla 22 se presenta el análisis de varianza del factor de bioacumulación en la raíz de *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* a diferentes tratamientos. En consecuencia, al realizar la hipótesis se obtiene que el valor de  $F_c < F_t$ , indicando que no existe diferencias en la acumulación del metal en los tratamientos de las especies al similar que las investigaciones de Medina & Montano, (2014), Chuptaya et al., (2022), Medina, (2022) y Orozco et al., (2022).

**Tabla 23**

Tabla descripción bloque tratamiento de factor de bioacumulación en la raíz en *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba*

Descripción Bloque - Tratamientos				
Bloque	Tratamiento	Medio	SD	N
<b>1</b>	1	0.638	0.009	3
	2	0.932	0.002	3
	3	0.776	0.002	3
	4	0.685	3.606e -4	3
<b>2</b>	1	0.831	0.006	3
	2	0.976	0.001	3
	3	0.876	0.002	3
	4	0.748	6.557e -4	3

*Nota:* Valor de P ajustado para comparar una familia de 4

En la Tabla 23 se presenta las descripciones de bloque - tratamientos de la bioacumulación en la raíz, para ello se realiza las comparaciones entre tratamientos para determinar si existen tratamientos iguales. Según el promedio, no se encuentran bioacumulaciones en la raíz que den porcentajes similares al similar que las investigaciones de Medina & Montano, (2014), Chuptaya et al., (2022), Medina, (2022) y Orozco et al., (2022).

**Tabla 24**

*Tabla prueba de tukey de factor de bioacumulación en la raíz en Lupinus mutabilis y Vicia faba por tratamiento*

<b>Comparaciones P tukey - Tratamientos</b>				
	<b>Diferencia significativa</b>	<b>SE</b>	<b>t</b>	<b>P tukey</b>
<b>1 2</b>	-0.219	0.002	-95.388	<0 .001
<b>3</b>	-0.091	0.002	-39.664	< 0.001
<b>4</b>	0.018	0.002	7.966	<0 .001
<b>2 3</b>	0.128	0.002	55.723	< 0.001
<b>4</b>	0.238	0.002	103.353	< 0.001
<b>3 4</b>	0.109	0.002	47.630	< 0.001

*Nota: Valor de P ajustado para comparar una familia de 4, los resultados se promedian sobre los niveles de: bloque*

En la Tabla 24 se presenta la prueba de tukey en la bioacumulación en la raíz a diferentes concentraciones de la aplicación de un control T0 y tratamientos T1, T2, T3 de 2.5, 5, 10 mg Cd/kg de suelo. En consecuencia, al realizar la hipótesis se obtiene que el valor de  $p < 0.01$ , indicando este valor que existe diferencias en la bioacumulación en la raíz al similar que las investigaciones de Medina & Montano, (2014), Chuptaya et al., (2022), Medina, (2022) y Orozco et al., (2022).

Además, Baker, (1981), Yang et al., (2004), Boyd et al., (2008), Delgadillo et al., (2011) y Marrero et al., (2012) mencionan en sus investigaciones que las especies hiperacumuladoras, son aquellas que pueden acumular al menos 100 ppm (0.01 % peso seco) de cadmio, en la investigación se obtuvo una máxima acumulación de 6.853 y 7.486 ppm en *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba*

respectivamente, por lo que se afirma que ambas especies no son hiperacumuladoras

La bioacumulación según Papuico, (2020) menciona en su investigación que el  $FB < 1$  en *Lupinus mutabilis*, por lo que menciona que solo tolera al cadmio del suelo y afecta el crecimiento, lo cual contradice la presente investigación  $FB$  promedio  $> 1$ , en las especies de *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* no afectaron su crecimiento y toleraron el cadmio, Hernández, (2016) y Clemente et al., (2021), indican que la bioacumulación de cadmio en *Lolium perenne L.* y *Helianthus annuus L.*, aumenta, a mayor cadmio mayor es la bioacumulación al igual que las especies estudiadas, donde bioacumularon más Cd en la parte aérea que las raíces.

**Tabla 25**

*Factor de traslocación en Lupinus mutabilis y Vicia faba*

Bloque	Sub muestreo o repetición	FT			
		FT TES	FT 2.5 Cd	FT 5.0 Cd	FT 10.0 Cd
<b>Bloque 1</b> <i>Lupinus mutabilis</i>	1	0.670	1.392	1.853	1.883
	2	0.658	1.385	1.864	1.881
	3	0.654	1.388	1.858	1.882
<b>Bloque 2</b> <i>Vicia faba</i>	1	0.528	1.383	1.788	1.951
	2	0.509	1.374	1.793	1.956
	3	0.505	1.378	1.791	1.953

En la Tabla 25 se muestra los resultados del factor de traslocación de especies de *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba*, los resultados muestra que ambas especies son traslocadoras, ya que resultados muestran un  $FT > 1$ , así mismo Baker, (1981) menciona que las plantas colonizan suelos metalíferos lo que les permiten tolerar la toxicidad de los metales.

Medina & Montano, (2014), en su investigación mencionan  $FT > 1$ , lo indica que las especies de *Juncus arcticus* y *Cortaderia rudiusscula* son eficientes en trasladar el metal desde las raíces hacia las hojas, al igual que las especies de *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* de la presente investigación donde el  $FT > 1$ ,

estas especies son traslocadoras de cadmio desde la raíz hacia las hojas, además el FT cumple con  $FT > 1$  de acuerdo a Baker, (1981) son especies traslocadoras de cadmio, Asimismo Calla, (2021) menciona en su investigación que *Theobroma cacao L* es una especie traslocadora de cadmio porque obtuvo  $FT > 1$ .

Chuptaya et al., (2022), Medina, (2022), Orozco et al., (2022), y Clemente et al., (2021), mencionan en sus investigaciones que el  $FT < 1$  en la especie de *Schinus molle* y *Acacia macracantha*, *Capsicum annuum L.*, *Solanum peruvianum L.* y *Helianthus annuus L.*, no son especies eficientes al traslocar el Cd, lo que contradice la presente investigación.

**Tabla 26**

*Tabla ANOVA de Factor de traslocación en Lupinus mutabilis y Vicia faba*

<b>Casos</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Df</b>	<b>Cuadros medios</b>	<b>Fc</b>	<b>Ft</b>
<b>Bloque</b>	0.009	1	0.009	0.692308	34.12
<b>Tratamiento</b>	6.635	3	2.212	170.1538	29.46
<b>Error experimental</b>	0.038	3	0.013		
<b>Error de muestreo</b>	5.909e -4	16	3.693e -5		

*Nota: tipo III suma de cuadrados*

En la Tabla 26 se presenta el análisis de varianza del factor de traslocación en *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba* a diferentes tratamientos. En consecuencia, al realizar la hipótesis se obtiene que el valor de  $Fc > Ft$ , indicando que existe diferencias en la acumulación del metal en los tratamientos de las especies al similar que las investigaciones de Medina & Montano, (2014) y Calla, (2021), en todo los tratamientos traslocan las especies.

**Tabla 27**

Tabla descripción bloque tratamiento de Factor de traslocación en *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba*

Descripción Bloque - Tratamientos				
Bloque	Tratamiento	Medio	SD	N
<b>1</b>	1	0.661	0.008	3
	2	1.388	0.004	3
	3	1.858	0.005	3
	4	1.882	0.001	3
<b>2</b>	1	0.514	0.013	3
	2	1.378	0.004	3
	3	1.791	0.003	3
	4	1.953	0.002	3

*Nota:* Valor de P ajustado para comparar una familia de 4

En la Tabla 27 se presenta las descripciones de bloque - tratamientos de traslocación, para ello se realiza las comparaciones entre tratamientos para determinar si existen tratamientos iguales. Según el promedio no se encuentran traslocaciones que den porcentajes similares al similar que las investigaciones de Medina & Montano, (2014) y Calla, (2021).

**Tabla 28**

Tabla prueba de tukey de Factor de traslocación en *Lupinus mutabilis* y *Vicia faba*

Comparaciones P tukey - Tratamientos				
	Diferencia significativa	SE	t	P tukey
<b>1 2</b>	-0.796	0.004	-226.856	<0 .001
<b>3</b>	-1.237	0.004	-352.622	< 0.001
<b>4</b>	-1.330	0.004	-379.162	<0 .001
<b>2 3</b>	-0.441	0.004	-125.766	< 0.001
<b>4</b>	-0.534	0.004	-152.306	< 0.001
<b>3 4</b>	-0.093	0.004	-26.540	< 0.001

*Nota:* Valor de P ajustado para comparar una familia de 4, los resultados se promedian sobre los niveles de: bloque

En la Tabla 28 se presenta la prueba de tukey en la traslocación a diferentes concentraciones de la aplicación de un control T0 y tratamientos T1, T2, T3 de 2.5, 5, 10 mg Cd/kg de suelo. En consecuencia, al realizar la hipótesis se obtiene que el valor de  $p < 0.01$ , indicando este valor que existe diferencias en la traslocación al similar que las investigaciones de Medina & Montano, (2014) y Calla, (2021).

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

Las muestras de suelos provenientes del sector Pallcapampa no superan los valores de los estándares de calidad ambiental para suelos agrícolas que es de 1.4 mg/kg de cadmio, porque el análisis de suelo se obtuvo 0.514 mg/kg de cadmio.

Los suelos al ser inoculadas con solución de cadmio, las concentraciones máximas en las especies de *Lupinus mutabilis* fueron de 6.849, 6.633, 6.258 ppm y en *Vicia faba* de 7.480, 7.410, 7.200 ppm, la mayor concentración fueron en raíces, seguida de tallos y hojas en el desarrollo de las especies, cuyas concentraciones fueron mayores en *Vicia faba* que en *Lupinus mutabilis*, a mayor concentración de Cd en el suelo es mayor la acumulación de Cd en las especies.

Los factores de Bioacumulación y traslocación en los tratamientos fueron de FB (aérea)  $> 1$ , FB (raíz)  $< 1$  y FT  $> 1$ , las especies son bioacumuladoras y traslocadoras de Cd, tanto el *Lupinus mutabilis* como *Vicia faba*, tienen el potencial para fitorremediar suelos contaminados, ya que la biomasa no fue afectada.

## **5.2. Recomendaciones**

Continuar la investigación en diferentes estaciones del año para prever la retención del cadmio en época seca.

Realizar investigaciones en cuanto a los parámetros fisicoquímicos de los suelos, los cuales indiquen el grado de influencia de estos parámetros en la adsorción de metales por las plantas.

Utilizar otras especies en la bioacumulación y traslocación de cadmio para ver su acumulación en toda la especie.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achate, L. M. (2020). Presencia de Cadmio y Plomo en Agua, Suelo y Suelo Acumulación en Pastos Naturales de las Bocaminas San Antonio y Tangana de la Comunidad de Huachocolpa Huancavelica-2018. *Repositorio Institucional - UNH*, 80. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2755>
- Agricultura Ecológica. (2021). *Manual de Enmienda para Aplicación de Roca Fosfórica*. Abonosconagricola. [www.abonosconagricola.com](http://www.abonosconagricola.com)
- Ahmad, M., Ahmad, M., Usman, A. R. A., Al-Faraj, A. S., Ok, Y. S., Hussain, Q., Abduljabbar, A. S., & Al-Wabel, M. I. (2018). An efficient phosphorus scavenging from aqueous solution using magnesiothermally modified bio-calcite. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 39(13), 1638–1649. <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1335349>
- Aldana, L. F. (2010). Producción Comercial y de Semilla de Haba ( *Vicia fava L.* ). *Manual Técnico Agrícola*, 49.
- ArcMap. (2022). *Mapa de parcela de estudio para la toma de muestras de suelo en el sector Pallcapampa, Puno – Perú*.
- Argota, G., Encina, M., Argota, H., & Iannacone, J. (2014). Coeficientes biológicos de fitorremediación de suelos expuestos a plomo y cadmio utilizando *Alopecurus magellanicus* var. *bracteatus* y *Muhlenbergia angustata* (Poaceae), Puno, Perú. *The Biologist*, 12(1), 99–108. [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/biologist/v12\\_n1/pdf/a10v12n1.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/biologist/v12_n1/pdf/a10v12n1.pdf)
- Ariza, M., & Pinzón, L. (2022). Tratamiento de suelos impactados por elementos traza de zinc, cobre y níquel mediante aplicación de zeolitas como agente inmovilizador. *Ciencia Unisalle*.
- Baker, A. J. M. (1981). Accumulators and Excluders - Strategies in the Response of Plants to Heavy Metals. *Journal of Plant Nutrition*, 3(1–4), 643–654. <https://doi.org/10.1080/01904168109362867>
- Beltrán, M. E., & Gómez, A. M. (2016). Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd),

- romo (Cr) y mercurio (Hg), mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: una revisión. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 12(2), 172–197. <https://doi.org/10.18359/rfcb.2027>
- Bernal, A. (2014). Fitorremediación en la recuperación de suelos: una visión general. In *Revista de investigación agraria y Ambiental: Vol. volumen 5* (Issues ISSN2145-6097, pp. 245–258). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5590911>
- Boyd, R. S., Davis, M. A., & Balkwill, K. (2008). *Elemental patterns in Ni hyperaccumulating and non-hyperaccumulating ultramafic soil populations of Senecio coronatus*. 74, 158–162. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2007.08.013>
- Calla, Y. (2021). Evaluación de la concentración de cadmio en el suelo y su relación con los órganos vegetales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en San Gabán, Carabaya, Puno. *Universidad Nacional de Juliaca*, 2013–2015.
- Chung, B. (2018). Control of Chemical Pollutants in Peru Simposio: Salud Ambiental. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*, 25(4), 413–413.
- Chuptaya, G., Molina, J., & Fernandez, J. (2022). Potencial de fitorremediación de Schinus molle y Acacia macracantha, en suelos contaminados con metales pesados en Cantalima 2021. *Universidad Peruana Unión*, 1–31. <http://hdl.handle.net/20.500.12840/5355>
- Clemente, J. P., Medina, J., Laura, J. D., Pariona, L. Á., & Gutierrez, P. P. (2021). Fitorremediación en suelos contaminados con Cd usando girasol (*Helianthus annuus* L. var. Sunbright). *Acta Agronómica*, 70(2), 163–170. <https://doi.org/10.15446/acag.v70n2.94208>
- Confalone, A. E. (2008). Crecimiento y Desarrollo del Cultivo del Haba (*Vicia faba* L.). *Escola Politécnica Superior Departamento De Producción Vexetal*.
- Damian, M., Gonzáles, F., Quiñones, P., & Terán, J. (2018). Plan de enmiendas, yeso agrícola, compost mejorado y enriquecido con EM y humus de lombriz, para mejorar el suelo. *Arnaldoa*, 25(1), 141–158. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.251.25109>
- De la Cruz, N., Hernandez, V. E., Guevara, E., López, M. A., Santos, A. T., Ojeda, E., &

- Alderete, A. (2010). Lupinus versicolor response in soils contaminated with heavy metals from a petroleum extraction field. *Journal of Applied Sciences*, 10(8), 694–698. <https://doi.org/10.3923/jas.2010.694.698>
- Delgadillo, A. E., González, C. A., Prieto, F., Villagómez, J. R., & Acevedo, O. (2011). *Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación*. 14, 597–612.
- Delgado, D. (2017). Aplicación de enmiendas orgánicas para la recuperación de propiedades físicas del suelo asociadas a la erosión hídrica. *Repositorio Universidad Del Valle, Colombia*, 17, 77–82. <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Dialnet-AplicacionDeEnmiendasOrganicasParaLaRecuperacionDe-6124531.pdf>
- Díaz, J., Montiel, M., & Chirinos, I. (2011). *Determinación de la capacidad de tres especies vegetales para extraer cadmio y cobre en un suelo contaminado Copper and cadmium extracting capacity determination of three vegetable species in a polluted soil Introducción*. 301–310.
- Dufour, R. (2015). Hoja de Datos : Rotación de Cultivos en Sistemas Agrícolas Orgánicos. *Centro Nacional de Tecnología Apropiada*, 1–4. [https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/FINAL Rotacion de Cultivos en Sistemas Agricolas Organicos.pdf](https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/FINAL_Rotacion_de_Cultivos_en_Sistemas_Agricolas_Organicos.pdf)
- FAO/OIEA. (2007). Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible. In *Boletín FAO Fertilizantes y Nutrición Vegetal* (Vol. 13). <http://www.fao.org/3/a-y5053s.pdf>
- Faquin, V. (2005). Nutrição Mineral De Plantas. *Centro de Editoração/FAEPE*.
- Fu, Q., Yan, M., Jungstedt, E., Yang, X., Li, Y., & Berglund, L. A. (2018). SC. *Composites Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2018.06.001>
- Garay, O. B. (2015). El tarwi alternativa para la lucha contra la desnutrición infantil. *Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA*, 64. [www.inia.gob.pe](http://www.inia.gob.pe)
- García, C. (2008). *Enmiendas Orgánicas para Suelos Basadas en Residuos Orgánicos*. Academia de Ciencias de la Región de Murcia.

- García, E. M. A., García, E., Juárez, L. F., Juárez, L., Montiel, J. M. R., & Gómez, M. A. (2012). La Respuesta de Haba (Vicia faba, L.) Cultivada en un Suelo Contaminado con Diferentes Concentraciones de Cadmio. *Rev. Int. Contam. Ambie*, 28(2), 119–126.
- Ghori, Z., Iftikhar, H., Bhatti, M. F., Nasar-um-Minullah, Sharma, I., Kazi, A. G., & Ahmad, P. (2016). Phytoextraction. In *Plant Metal Interaction* (pp. 385–409). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803158-2.00015-1>
- Gong, Y., Zhao, D., & Wang, Q. (2018). An overview of field-scale studies on remediation of soil contaminated with heavy metals and metalloids: Technical progress over the last decade. *Water Research*, 147, 440–460. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.10.024>
- Google. (2023). *Puntos de muestreo sector Pallcapampa distrito de Huancané*. <https://earth.google.com/web/search/Huancane,+Puno/@-15.23652866,-69.83084636,3817.33948035a,258.43285193d,35y,71.14130274h,59.99999285t,360r/data=CngaThJiCiQweDkxNjdhMWY4Yjc1YTJkMzc6MHg0MTJhNTk3MTgzNzgzOTYZW4ARjx9pLsAhRIRNtbwUcAqDkh1YW5jYW5lLCBQdW5vGAEg>
- Hernández, R., Alvarado, A., & Romero, R. (2012). Acumulación de Cobre en Plantas Silvestres de Zonas Agrícolas. *Ciencia y Tecnología*, 28, 55–61.
- Hernández, M. V. (2016). Bioacumulación de cadmio en rye grass (*Lolium perenne* L. var. Nui) sembrado en tres sustratos en condiciones de invernadero. *Universidad Nacional Agraria La Molina*. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2790>
- Hernández, Y., Rodríguez, P., Peña, M., Meriño, Y., & Cartaya, O. (2019). Toxicidad del Cadmio en las plantas y estrategias para disminuir sus efectos. Estudio de caso: El tomate. *Cultivos Tropicales*, 40(3).
- Horque, R. (2004). *Cultivo del Haba*.
- Huang, B., Li, Z., Li, D., Yuan, Z., Chen, Z., & Huang, J. (2017). Distribution characteristics of heavy metal(loid)s in aggregates of different size fractions along contaminated paddy soil profile. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(30), 23939–23952. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0012-4>
- INIA. (2013). *Manejo cultivo haba* (p. 4).

- Jacobsen, S.-E., & Mujica, A. (2006). El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) y sus parientes silvestres. *Botanica Economica de Los Andes Centrales- Universidad Mayor de San Andrés*, 458–482.
- Jara, E., Gómez, J., Montoya, H., Chanco, M., & Mariano, M. (2014). *Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados*.
- Jara, E., Gómez, J., Montoya, H., Chanco, M., Mariano, M., & Cano, N. (2014). Capacidad Fitorremediadora De 5 Sp Altoandinas En Suelos Contaminados con metales pesados. *Revista Peruana de Biología*, 21(October), 145–155.
- Jeevanantham, S., Saravanan, A., Hemavathy, R. V., Kumar, P. S., Yaashikaa, P. R., & Yuvaraj, D. (2019). Removal of toxic pollutants from water environment by phytoremediation: A survey on application and future prospects. In *Environmental Technology and Innovation* (Vol. 13). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.12.007>
- Kabata, A., & Pendias, H. (2001). Trace Elements in Soils and Plants. In *Trace elements in soils and plant* (3rd ed. p.).
- Lane, E. A., Canty, M. J., & More, S. J. (2015). Riesgo para la salud por la utilización de suelos ricos en cadmio. *Research in Veterinary Science*, 101, 132–139. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2015.06.004>
- Liu, Y., Liu, K., Li, Y., Yang, W., Wu, F., Zhu, P., Zhang, J., Chen, L., Gao, S., & Zhang, L. (2016). Cadmium contamination of soil and crops is affected by intercropping and rotation systems in the lower reaches of the Minjiang River in south-western China. *Environmental Geochemistry and Health*, 38(3), 811–820. <https://doi.org/10.1007/s10653-015-9762-4>
- Londoño, L. F., Londoño, P. T., & Muñoz, F. G. (2016). Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153)
- López, A. E. D., Ramírez, C. A. G., García, F. P., Ibarra, J. R. V., & Sandoval, O. A. (2011). Fitorremediación: Una Alternativa para Eliminar la Contaminación. *Tropical and*

*Subtropical Agroecosystems*, 14(2), pg. 597-612.

- Lorenzo, R., Torres, N., Sánchez, P., Herrera, J., Mayrén, F. de J., Salinas, T., Rojas, A. R., & Maldonado, M. de los Á. (2019). Evaluación de las Características de Calidad y Bromatológicas de Ensilados Elaborados con Residuos de Calabaza (*Cucurbita argyrosperma*). *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 35(4), 957–963. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.04.14>
- Maguiña, F. L. (2017). *Determinación de la capacidad fitorremediadora de Lupinus mutabilis Sweet “ chocho o tarwi ” en suelos contaminados con cadmio ( Cd ). Cd.*
- Mahecha, J. D., Trujillo, J. M., & Torres, M. A. (2017a). Análisis de estudios en metales pesados en zonas agrícolas de Colombia. *Orinoquia*, 21(1 Sup), 83–93. <https://doi.org/10.22579/20112629.434>
- Mahecha, J. D., Trujillo, J. M., & Torres, M. A. (2017b). Analysis of Studies in Heavy Metals in Agricultural Areas of Colombia. *Orinoquia*, 21(1), 83–93.
- Marrero, J., Amores, I., & Coto, O. (2012). Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. *ICIDCA: Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar*, 46(3), 52–61.
- Martínez, L., Cavagnaro, P., Masuelli, R., & Rodríguez, J. (2003). Evaluation of diversity among Argentine grapevine (*Vitis vinifera* L.) varieties using morphological data and AFLP markers. *Electronic Journal of Biotechnology*, 6(3), 78–87. <https://doi.org/10.2225/vol6-issue3-fulltext-11>
- Medina, K. D., & Montano, Y. N. (2014). *Determinación del factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el juncus arcticus contaminadas con el pasivo ambiental.*
- Medina, S. (2022). Evaluación de la Capacidad Fitoestabilizadora de *Solanum peruvianum* L. en Suelos Contaminados con Cobre, Plomo y Cadmio, Moquegua, 2019. *Universidad Nacional de Moquegua*, 1–161.
- Mendieta, C., & Taisigue, K. (2014). Acumulación y traslocación de metales, metaloides en plantas nativas de la zona minera de Chontales: Implicaciones para el potencial de

- fitorremediación. *Appear*, 1–12.  
[https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user\\_upload/p\\_biorem/education/research/methods/Accumulation-and-Translocation-metals-in-native-plants\\_Extended-abstract.pdf](https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/methods/Accumulation-and-Translocation-metals-in-native-plants_Extended-abstract.pdf)
- Mi, Y., Zhan, F., Li, B., Qin, L., Wang, J., Zu, Y., & Li, Y. (2018). Distribution characteristics of cadmium and lead in particle size fractions of farmland soils in a lead–zinc mine area in Southwest China. *Environmental Systems Research*, 7(1).  
<https://doi.org/10.1186/s40068-018-0117-x>
- MINAM. (2014). Guía para el muestreo de suelos. *Minam*, 72.  
<http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/07/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELO.pdf>
- Montano, Y., Tapia, P. M., Fow, A., & Fuentealba, B. (2022). Fitorremediación. Una alternativa para tratar la contaminación ambiental. *Dirección de Investigación En Ecosistemas de Montaña – Instituto Nacional de Investigación En Glaciares y Ecosistemas de Montaña (DIEM-INAIGEM)*, 1–16.
- Murillo, S. A., Mendoza, A., & Fadul, C. J. (2020). La importancia de las enmiendas orgánicas en la conservación del suelo y la producción agrícola. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 7(1), 58–68.  
<https://doi.org/10.23850/24220582.2503>
- Nõlvak, H., Truu, J., Limane, B., Truu, M., Cepurnieks, G., Bartkevičs, V., Juhanson, J., & Muter, O. (2013). Microbial community changes in TNT spiked soil bioremediation trial using biostimulation, phytoremediation and bioaugmentation. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 21(3), 153–162.  
<https://doi.org/10.3846/16486897.2012.721784>
- Núñez, R., Meas, Y., Ortega, R., & Olguín, E. J. (2004). *Fitorremediación: Fundamentos y Aplicaciones*. 69–83.
- Orozco, D. M., Letechipía, C., Megchún, J. V., & Gómez, A. (2022). Determinación de los factores de bioconcentración , traslocación y riesgos potenciales a la salud en *Capsicum annuum* L . *Trabajos Científicos En México*, March.  
<https://www.researchgate.net/publication/359195915%0ADeterminación>

- Ortega, E., Rodríguez, A., David, A., & Zamora, Á. (2010). Caracterización de semillas de lupino (*Lupinus mutabilis*) sembrado en los Andes de Colombia. *Acta Agronómica*, 59(1), 111–118. [http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/view/14094/14957](http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/14094/14957)
- Ortiz, A. M., Hernández, E., Lara, F., Granados, C. A., Landero, N., & Andrade, P. (2023). *Bioacumulación de metales pesados en plantas de pepino inoculadas con cepas de Trichoderma (Hypocreaceae) en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México*. 117–126.
- Papuico, R. D. P. (2020). *Fitorremediación de un suelo contaminado con cadmio, utilizando Lupinus mutabilis y estiércol de lombriz. Huancaní, J auja. 2019*.
- Ramírez, A. (2013). Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Anales de La Facultad de Medicina*, 63(1), 51. <https://doi.org/10.15381/anales.v63i1.1477>
- Ramírez, R. I., García, M., Alvares, V. de P., González, G., & Hernández, V. (2019). Potencial fitorremediador de la chicura (*Ambrosia ambrosioides*) en suelos contaminados por metales pesados. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(7), 1529–1540. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1731>
- Regalado, F., & Peláez, F. (2019). Determinación de contaminantes químicos en alimentos cultivados procedentes de la minería en Shiracmaca Huamachuco. *Ciencia y Tecnología*, 15(2), 27–40. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/2371>
- Roberts, T. L. (2014). Cadmium and phosphorous fertilizers: The issues and the science. *Procedia Engineering*, 83, 52–59. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.09.012>
- Rodríguez, N. (FAO), McLaughlin, M. (Universidad de A., & Pennock, D. ( U. de S. / M. del G. (2019). *La contaminación del suelo: una realidad oculta*.
- Rojjanateeranaj, P., Sangthong, C., & Prapagdee, B. (2017). Enhanced cadmium phytoremediation of *Glycine max* L. through bioaugmentation of cadmium-resistant bacteria assisted by biostimulation. *Chemosphere*, 185, 764–771. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.074>

- Sangthong, C., Setkit, K., & Prapagdee, B. (2016). Improvement of cadmium phytoremediation after soil inoculation with a cadmium-resistant *Micrococcus* sp. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(1), 756–764. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5318-5>
- Suaña, M. (Universidad nacional del altiplano). (2018). Capacidad del Girasol (*Helianthus annuus* L.) para Absorber Cadmio de Suelos Contaminados en Ambiente Controlado, Puno. *Revista de Investigaciones de La Escuela de Posgrado*, 7(051), 393–401.
- Sun, Y., Zhou, Q., & Diao, C. (2008). *Effects of cadmium and arsenic on growth and metal accumulation of Cd-hyperaccumulator Solanum nigrum L . 99*, 1103–1110. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.02.035>
- Tapia, M. E. (2015). *El Tarwi, Lupino Andino*.
- Vega, L. (2021). Aplicación de métodos físico-químicos y biológicos en suelos contaminados con cadmio y plomo. In *Unheval* (Vol. 0).
- Villanueva, L. R. (2006). *Evaluacion del impacto de los Fertilizantes Fosfatados en la Acumulacion de Cadmio en Suelos Cultivados con Maiz(Zea mayz)*. 1–121.
- Volke, T., & Velasco, J. A. (2002a). *Tecnologías de remediación para suelos contaminados* (Vol. 65, Issue 1). <http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203>
- Volke, T., & Velasco, J. A. (2002b). *Tecnologías de remediación para suelos Contaminados* (Instituto, Issue August). Instituto Nacional de Ecología. [https://www.researchgate.net/publication/31851896\\_Tecnologias\\_de\\_remediacion\\_para\\_suelos\\_contaminados\\_T\\_Volke\\_Sepulveda\\_JA\\_Velasco\\_Trejo](https://www.researchgate.net/publication/31851896_Tecnologias_de_remediacion_para_suelos_contaminados_T_Volke_Sepulveda_JA_Velasco_Trejo)
- Vyslou, M., Tlusto, P., Száková, J., & Pavlíková, D. (2003). *As , Cd , Pb and Zn uptake by Salix spp . clones grown in soils enriched by high loads of these elements*. 2003(5), 191–196.
- Yang, S., Zhou, D., Yu, H., Wei, R., & Pan, B. (2013). Distribution and speciation of metals (Cu, Zn, Cd, and Pb) in agricultural and non-agricultural soils near a stream upriver from the Pearl River, China. *Environmental Pollution*, 177, 64–70. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.01.044>

- Yang, X. E., Long, X. X., Ye, H. B., He, Z. L., Calvert, D. V., & Stoffella, P. J. (2004). *Cadmium tolerance and hyperaccumulation in a new Zn-hyperaccumulating plant species ( Sedum alfredii Hance )*. 181–189.
- Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., & Ma, L. Q. (2006). *Accumulation of Pb , Cu , and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site*. 368, 456–464. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.01.016>
- Zehra, A., Sahito, Z. A., Tong, W., Tang, L., Hamid, Y., Wang, Q., Cao, X., Khan, M. B., Hussain, B., Jatoi, S. A., He, Z., & Yang, X. (2020). Identification of high cadmium-accumulating oilseed sunflower (*Helianthus annuus*) cultivars for phytoremediation of an Oxisol and an Inceptisol. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 187(March 2019). <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109857>
- Zeng, P., Guo, Z., Xiao, X., Peng, C., Liu, L., Yan, D., & He, Y. (2020). Physiological stress responses, mineral element uptake and phytoremediation potential of *Morus alba* L. in cadmium-contaminated soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 189(November), 109973. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109973>
- Zhu, G., Xiao, H., Guo, Q., Zhang, Z., Zhao, J., & Yang, D. (2018). Effects of cadmium stress on growth and amino acid metabolism in two Compositae plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 158(January), 300–308. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.04.045>
- Zu, Y., Qin, L., Zhan, F., Wu, J., Li, Y., Chen, J., Wang, J., & Hu, W. (2017). Effects of Intercropping of *Sonchus asper* and *Vicia faba* on Plant Cadmium Accumulation and Root Responses. *Pedosphere*, 0160(2017). [https://doi.org/10.1016/s1002-0160\(17\)60484-3](https://doi.org/10.1016/s1002-0160(17)60484-3)

## **ANEXOS**

*Anexo 1 Panel fotográfico*



*Figura 12* Georreferenciación de puntos de muestreo



*Figura 13* Toma de muestras de suelo



*Figura 14* Obtención de muestras de suelo



*Figura 15* Cuarteo para la obtención de 1 kg de muestra



**Figura 16** Rotulado de la muestra



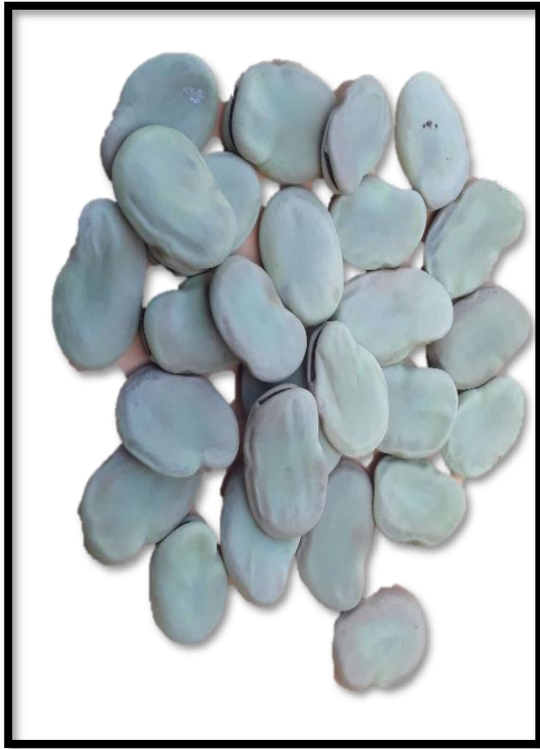
**Figura 17** Envío de las muestras en cooler para su análisis



**Figura 18** Vivero Yanaoco



**Figura 19** Vivero para el desarrollo de especies



**Figura 20** Semillas de *Vicia faba*



**Figura 21** Semillas de *Lupinus mutabilis*



**Figura 22** Germinación de *Vicia faba*



**Figura 23** Germinación de *Lupinus mutabilis*



**Figura 24** Plantación de semillas en maceteros de *Vicia faba*



**Figura 25** Plantación de semillas en maceteros de *Lupinus mutabilis*



**Figura 26** pH del suelo



**Figura 27** humedad del suelo



**Figura 28** Crecimiento de *Vicia faba*



**Figura 29** Crecimiento de *Lupinus mutabilis*



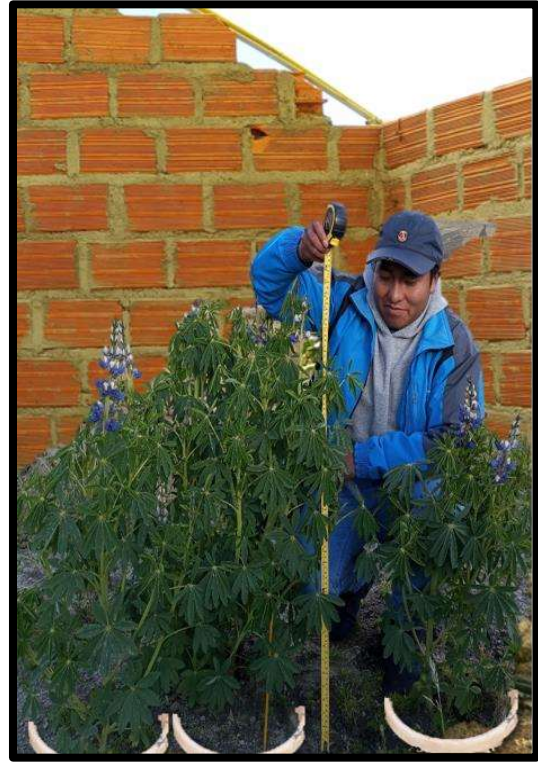
**Figura 30** Especies en desarrollo *Vicia faba*



**Figura 31** Especies en desarrollo *Lupinus mutabilis*



**Figura 32** Especies en desarrollo óptimo de *Vicia faba*



**Figura 33** Especies en desarrollo óptimo de *Lupinus mutabilis*



**Figura 34** Muestras de *Vicia faba* (raíz, tallo y hojas)



Figura 35 Muestras de *Lupinus mutabilis* (raíz, tallo y hojas)



Figura 36 Pesaje de las muestras de *Vicia faba* y *Lupinus mutabilis*



**Figura 37** Llevado de muestras al laboratorio en cooler



**Figura 38** Colocado de muestras para su secado



**Figura 39** Secado de las muestras en estufa para luego enviar al laboratorio para su análisis de concentración de Cadmio de las especies de *Vicia faba* y *Lupinus mutabilis*

## Anexo 2 Informe de ensayo sobre análisis de suelo sector Pallcapampa distrito de Huancané



RH-M99-2156

### INFORME DE ENSAYO

#### DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE : JHAN CARLOS MAMANI LARICO

PROYECTO : FACTOR DE BIOACUMULACION Y TRASLOCACION DE CADMIO EN LUPINUS MUTABILIS Y VICIA FABA EN AREA CONTAMINADA DEL SECTOR PALLCAPAMPA, DISTRITO DE HUANCANE

DIRECCIÓN : Jr. Huancas N° 264 - Puno

CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA  
CANTIDAD DE MUESTRAS : 1  
SOLICITUD DE ENSAYO : Analisis de Muestras de Suelos

RECEPCION DE MUESTRAS : Sobre sellado (Adecuada)

FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : 09/11/2021 al 13/11/2021

#### DETALLE DEL INFORME

#### RESULTADOS DE ENSAYO

N°	Código de Muestra	Nombre de Muestra	Punto de muestreo y/o coordenadas UTM Este / Norte	Fecha de muestreo	Hora de muestreo	*7003 Cd mg/kg
1	SPHP01	SECTOR PALLCAPAMPA HUANCANE PUNO	15,252644 - 69,870711	04/11/2021	4:51 pm.	0,514
2	SPHP02	SECTOR PALLCAPAMPA HUANCANE PUNO	15,252914 - 69,870703	04/11/2021	4:51 pm.	0,511
3	SPHP03	SECTOR PALLCAPAMPA HUANCANE PUNO	15,252977 - 69,870923	04/11/2021	4:51 pm.	0,517
4	SPHP04	SECTOR PALLCAPAMPA HUANCANE PUNO	15,252734 - 69,871027	04/11/2021	4:51 pm.	0,512
5	SPHP05	SECTOR PALLCAPAMPA HUANCANE PUNO	15,252785 - 69,870866	04/11/2021	4:51 pm.	0,516

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

\* E1: Ensayo 1

#### METODOS DE REFERENCIA

\*7003 EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en suelos y sedimentos por ICP - OES, Revisión 4.4.

RHLAB S.A.C  
Ing. Fidel Huaynapata Lusque  
GERENTE GENERAL

## Anexo 3 Informe de ensayo sobre análisis de raíz Vicia faba



RH-M97-2081

### INFORME DE ENSAYO

#### DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE : JHAN CARLOS MAMANI LARICO

PROYECTO : FACTOR DE BIOACUMULACION Y TRASLOCACION DE CADMIO EN LUPINUS MUTABILIS Y VICIA FABA EN AREA CONTAMINADA DEL SECTOR PALLCAPAMPA, DISTRITO DE HUANCANE

DIRECCIÓN : Jr. Huancas N° 264 - Puno

CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA  
CANTIDAD DE MUESTRAS : 12  
SOLICITUD DE ENSAYO : Analisis de Muestras de Raíces

RECEPCION DE MUESTRAS : Sobre sellado (Adecuada)

FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS : 21/10/2022  
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : 24/10/2022 al 28/10/2022

#### DETALLE DEL INFORME

#### RESULTADOS DE ENSAYO

N°	Código de Muestra	Especie	Nombre de Muestra	*5090 Cd ppm			Promedio Ponderado
				Repetición N° 01	Repetición N° 02	Repetición N° 03	
1	R01 TES	Vicia faba (Habas)	YANAOCO HUANCANE PUNO	0,424	0,430	0,428	0,427
2	R01 2.5 Cd	Vicia faba (Habas)	YANAOCO HUANCANE PUNO	2,436	2,443	2,439	2,439
3	R01 5.0 Cd	Vicia faba (Habas)	YANAOCO HUANCANE PUNO	4,388	4,372	4,379	4,380
4	R01 10.0 Cd	Vicia faba (Habas)	YANAOCO HUANCANE PUNO	7,486	7,473	7,481	7,480

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

\* E1: Ensayo 1

#### METODOS DE REFERENCIA

\*5090 Determinatio of trace elements in food by Inductively Coupled Plasma - Mass spectrometry

RHLAB. S.A.C.  
Ing. *Bladit Huaymapata Luque*  
GERENTE GENERAL

## Anexo 4 Informe de ensayo sobre análisis de tallo Vicia faba



RH-M97-2083

### INFORME DE ENSAYO

#### DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE : JHAN CARLOS MAMANI LARICO

PROYECTO : FACTOR DE BIOACUMULACION Y TRASLOCACION DE CADMIO EN LUPINUS MUTABILIS Y VICIA FABA EN AREA CONTAMINADA DEL SECTOR PALLCAPAMPA, DISTRITO DE HUANCANE

DIRECCIÓN : Jr. Huancas N° 264 - Puno

CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA

CANTIDAD DE MUESTRAS : 12

SOLICITUD DE ENSAYO : Analisis de Muestras de Tallos

RECEPCION DE MUESTRAS : Sobre sellado (Adecuada)

FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS : 21/10/2022

FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : 24/10/2022 al 28/10/2022 s

#### DETALLE DEL INFORME

#### RESULTADOS DE ENSAYO

N°	Código de Muestra	Especie	Nombre de Muestra	*5090 Cd ppm			Promedio Ponderado
				Repetición N° 01	Repetición N° 02	Repetición N° 03	
1	T01 TES	Vicia faba (Habas)	YANAOCO HUANCANE PUNO	0,212	0,206	0,207	0,208
2	T01 2.5 Cd	Vicia faba (Habas)	YANAOCO HUANCANE PUNO	2,137	2,131	2,135	2,134
3	T01 5.0 Cd	Vicia faba (Habas)	YANAOCO HUANCANE PUNO	4,177	4,169	4,174	4,173
4	T01 10.0 Cd	Vicia faba (Habas)	YANAOCO HUANCANE PUNO	7,406	7,411	7,414	7,410

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

\* E1: Ensayo 1

#### METODOS DE REFERENCIA

\*5090 Determinatio of trace elements in food by Inductively Coupled Plasma - Mass spectrometry

RHLAB S.A.C.  
Ing. Fidel Huaynapata Luque  
GERENTE GENERAL

## Anexo 5 Informe de ensayo sobre análisis de hojas Vicia faba



RH-M97-2085

### INFORME DE ENSAYO

<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
A SOLICITUD DE	JHAN CARLOS MAMANI LARICO
PROYECTO	FACTOR DE BIOACUMULACION Y TRASLOCACION DE CADMIO EN LUPINUS MUTABILIS Y VICIA FABA EN AREA CONTAMINADA DEL SECTOR PALLCAPAMPA, DISTRITO DE HUANCANE
DIRECCIÓN	Jr. Huancas N° 264 - Puno
CARACTERISTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA	
CANTIDAD DE MUESTRAS	12
SOLICITUD DE ENSAYO	Analisis de Muestras de Hojas
RECEPCIÓN DE MUESTRAS	Sobre sellado (Adecuada)
FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS	21/10/2022
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	24/10/2022 al 28/10/2022

#### DETALLE DEL INFORME

#### RESULTADOS DE ENSAYO

N°	Código de Muestra	Especie	Nombre de Muestra	*5090 Cd ppm			Promedio Ponderado
				Repetición N° 01	Repetición N° 02	Repetición N° 03	
1	H01 TES	Vicia faba (Habas)	YANAOCO HUANCANE PUNO	0,012	0,013	0,009	0,011
2	H01 2.5 Cd	Vicia faba (Habas)	YANAOCO HUANCANE PUNO	1,231	1,225	1,227	1,228
3	H01 5.0 Cd	Vicia faba (Habas)	YANAOCO HUANCANE PUNO	3,669	3,671	3,670	3,670
4	H01 10.0 Cd	Vicia faba (Habas)	YANAOCO HUANCANE PUNO	7,199	7,204	7,198	7,200

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

\* E1: Ensayo 1

#### METODOS DE REFERENCIA

\*5090 Determination of trace elements in food by Inductively Coupled Plasma - Mass spectrometry

**RHLAB S.A.C.**  
Ing. *[Firma]*  
Ing. *[Firma]* Huaynapata Luque  
GERENTE GENERAL

## Anexo 6 Informe de ensayo sobre análisis de raíz *Lupinus mutabilis*



RH-M97-2080

### INFORME DE ENSAYO

<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
A SOLICITUD DE	: JHAN CARLOS MAMANI LARICO
PROYECTO	: FACTOR DE BIOACUMULACION Y TRASLOCACION DE CADMIO EN LUPINUS MUTABILIS Y VICIA FABA EN AREA CONTAMINADA DEL SECTOR PALLCAPAMPA, DISTRITO DE HUANCANE
DIRECCIÓN	: Jr. Huancas N° 264 - Puno
CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA	
CANTIDAD DE MUESTRAS	: 12
SOLICITUD DE ENSAYO	: Analisis de Muestras de Raices
RECEPCION DE MUESTRAS	: Sobre sellado (Adecuada)
FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS	: 21/10/2022
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	: 24/10/2022 al 28/10/2022

#### DETALLE DEL INFORME

#### RESULTADOS DE ENSAYO

N°	Código de Muestra	Especie	Nombre de Muestra	*5090 Cd ppm			
				Repetición N° 01	Repetición N° 02	Repetición N° 03	Promedio Ponderado
1	R01 TES	Lupinus mutabilis (Tarwi)	YANAOCO HUANCANE PUNO	0,324	0,333	0,327	0,328
2	R01 2.5 Cd	Lupinus mutabilis (Tarwi)	YANAOCO HUANCANE PUNO	2,326	2,336	2,330	2,331
3	R01 5.0 Cd	Lupinus mutabilis (Tarwi)	YANAOCO HUANCANE PUNO	3,888	3,872	3,879	3,880
4	R01 10.0 Cd	Lupinus mutabilis (Tarwi)	YANAOCO HUANCANE PUNO	6,846	6,853	6,848	6,849

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

\* E1: Ensayo 1

#### METODOS DE REFERENCIA

\*5090 Determinatio of trace elements in food by Inductively Coupled Plasma - Mass spectrometry

RHLAB S.A.C  
Ing. *[Firma]* Huaynapata Luque  
GERENTE GENERAL

## Anexo 7 Informe de ensayo sobre análisis de tallo *Lupinus mutabilis*



RH-M97-2082

### INFORME DE ENSAYO

#### DATOS DEL CLIENTE

A SOLICITUD DE	:	JHAN CARLOS MAMANI LARICO
PROYECTO	:	FACTOR DE BIOACUMULACION Y TRASLOCACION DE CADMIO EN LUPINUS MUTABILIS Y VICIA FABA EN AREA CONTAMINADA DEL SECTOR PALLCAPAMPA, DISTRITO DE HUANCANE
DIRECCIÓN	:	Jr. Huancas N° 264 - Puno
CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA	:	
CANTIDAD DE MUESTRAS	:	12
SOLICITUD DE ENSAYO	:	Análisis de Muestras de Tallos
RECEPCION DE MUESTRAS	:	Sobre sellado (Adecuada)
FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS	:	21/10/2022
FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO	:	24/10/2022 al 28/10/2022

#### DETALLE DEL INFORME

#### RESULTADOS DE ENSAYO

N°	Código de Muestra	Especie	Nombre de Muestra	*5090 Cd ppm			
				Repetición N° 01	Repetición N° 02	Repetición N° 03	Promedio Ponderado
1	T01 TES	<i>Lupinus mutabilis</i> (Tarwi)	YANAOCO HUANCANE PUNO	0,209	0,213	0,207	0,210
2	T01 2.5 Cd	<i>Lupinus mutabilis</i> (Tarwi)	YANAOCO HUANCANE PUNO	2,126	2,123	2,124	2,124
3	T01 5.0 Cd	<i>Lupinus mutabilis</i> (Tarwi)	YANAOCO HUANCANE PUNO	3,857	3,863	3,859	3,860
4	T01 10.0 Cd	<i>Lupinus mutabilis</i> (Tarwi)	YANAOCO HUANCANE PUNO	6,637	6,629	6,632	6,633

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

\* E1: Ensayo 1

#### METODOS DE REFERENCIA

\*5090 Determinatio of trace elements in food by Inductively Coupled Plasma - Mass spectrometry

RHLAB S.A.C.  
Ing. Fidel Huaynapata Luque  
GERENTE GENERAL

Anexo 8 Informe de ensayo sobre análisis de hojas *Lupinus mutabilis*



RH-M97-2084

**INFORME DE ENSAYO**

**DATOS DEL CLIENTE**

A SOLICITUD DE : JHAN CARLOS MAMANI LARICO

PROYECTO : FACTOR DE BIOACUMULACION Y TRASLOCACION DE CADMIO EN LUPINUS MUTABILIS Y VICIA FABA EN AREA CONTAMINADA DEL SECTOR PALLCAPAMPA, DISTRITO DE HUANCANE

DIRECCIÓN : Jr. Huancas N° 264 - Puno

CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DE LA MUESTRA

CANTIDAD DE MUESTRAS : 12

SOLICITUD DE ENSAYO : Analisis de Muestras de Hojas

RECEPCION DE MUESTRAS : Sobre sellado (Adecuada)

FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS : 21/10/2022

FECHA DE REALIZACION DEL ENSAYO : 24/10/2022 al 28/10/2022

**DETALLE DEL INFORME**

**RESULTADOS DE ENSAYO**

N°	Código de Muestra	Especie	Nombre de Muestra	*5090 Cd ppm			
				Repetición N° 01	Repetición N° 02	Repetición N° 03	Promedio Ponderado
1	H01 TES	Lupinus mutabilis (Tarwi)	YANAOCO HUANCANE PUNO	0,008	0,006	0,007	0,007
2	H01 2.5 Cd	Lupinus mutabilis (Tarwi)	YANAOCO HUANCANE PUNO	1,112	1,113	1,110	1,112
3	H01 5.0 Cd	Lupinus mutabilis (Tarwi)	YANAOCO HUANCANE PUNO	3,348	3,353	3,349	3,350
4	H01 10.0 Cd	Lupinus mutabilis (Tarwi)	YANAOCO HUANCANE PUNO	6,256	6,261	6,257	6,258

Los resultados obtenidos y que se consignan en el presente informe corresponden al ensayo solicitado en las muestras recibidas del cliente.

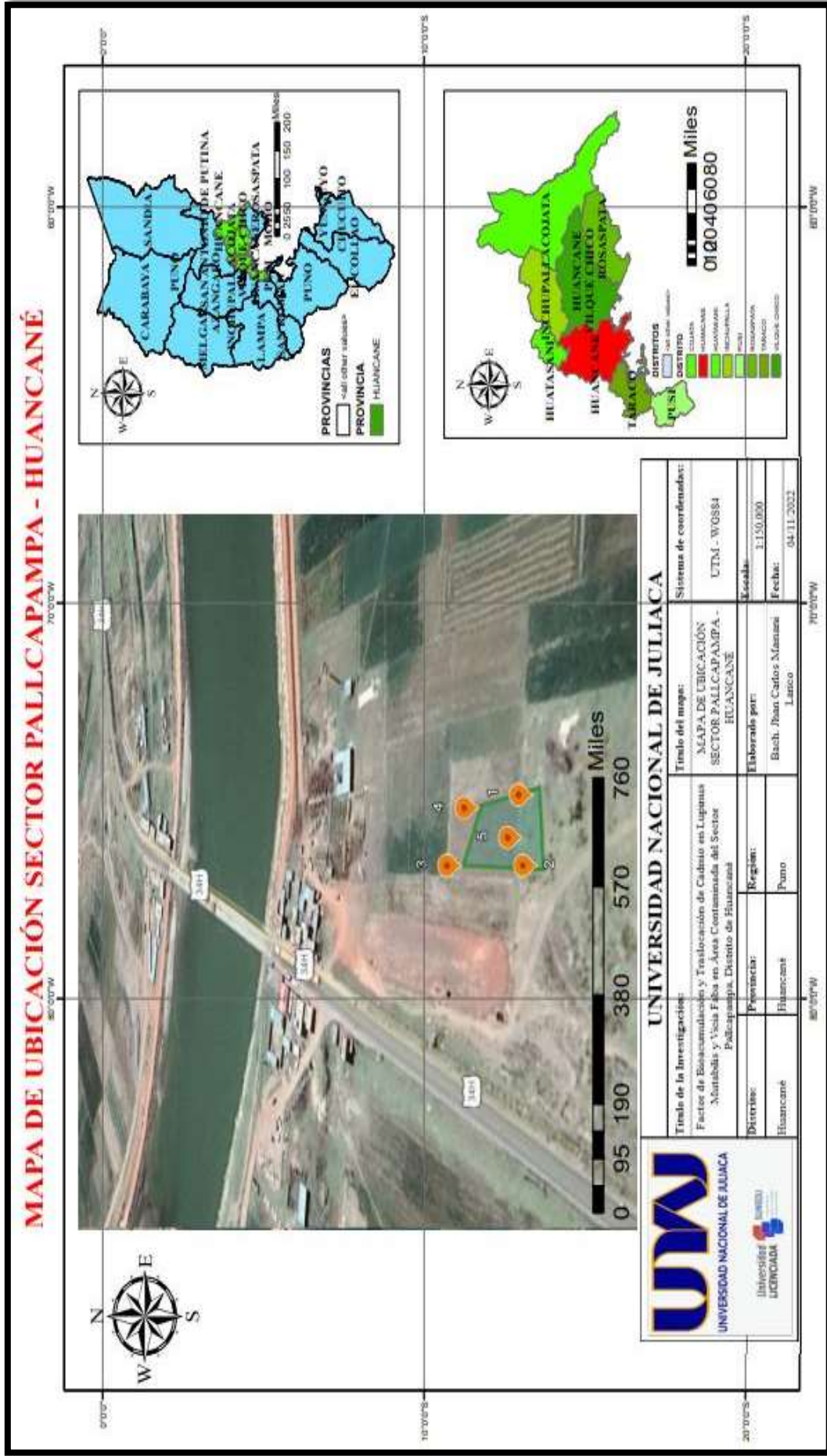
\* E1: Ensayo 1

**METODOS DE REFERENCIA**

\*5090 Determinatio of trace elements in food by Inductively Coupled Plasma - Mass spectrometry

**RHLAB S.A.C**  
  
 Ing. Daniel Huaynapata Luque  
 GERENTE GENERAL

Anexo 9 Mapa de ubicación sector Pallcapampa -Huancañé



UNW



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**

*"Universidad Pública de Calidad"*