

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Concentración de cadmio y plomo en la planta de  
papa (*Solanum tuberosum* L.), cultivada en suelos  
contaminados de El Mantaro, Sincos,  
Huancaní y Mito. 2020**

Vicente Cusi Ticllacuri

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento más sincero y profundo a mi hermano **RAÚL CUSI TICLLACURI**, “Que en paz descanse y de Dios goce”, quien fue un segundo padre para mí y me guio en este sendero académico, quien con sus ejemplos y sabiduría supo encaminarme para iniciar, continuar y culminar el presente proyecto, a quien quisiera decirle que para mí y mis hermanos: ***“Eres eterno en nosotros, hermano, no lo olvides y mientras vivamos los que te amamos, jamás morirás”***.

Así mismo, agradecer a mi padre Teodulo Cusi Vilca quien me apoyó durante la toma de muestras en campo, a mi Madre Seferina Ticllacuri Quispe que me apoyó durante el seguimiento del proyecto. A mis hermanos Rodil, Eduardo, Fredy y Alex que siempre me apoyaron de muchas maneras para culminar esta investigación.

A mi asesor de tesis el Dr. Andrés Azabache Leyton quien con su experiencia, conocimiento y dominio del tema supo darme las pautas, datos necesarios y guiarme en realizar la presente investigación, que sin su aporte no hubiese sido posible la realización de este proyecto de investigación.

## **DEDICATORIA**

Para mi hermano Raúl Cusi  
Ticllacuri que está en la presencia de  
Dios, a mis padres Teodulo y Seferina.  
a mis hermanos Rodil, Eduardo, Fredy y  
Alex.

**EL AUTOR**

## ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	ii
<b>DEDICATORIA</b> .....	iii
<b>ÍNDICE</b> .....	iv
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	vi
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>RESUMEN</b> .....	ix
<b>ABSTRACT</b> .....	x
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	xi
<b>CAPÍTULO I</b> .....	13
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	13
1.1 Planteamiento y formulación del problema .....	13
1.1.1 Planteamiento del problema .....	13
1.1.2 Formulación del problema .....	13
1.2 Objetivos .....	14
1.2.1 Objetivo general .....	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	15
1.3 Justificación e importancia .....	15
1.3.1 Justificación.....	15
1.3.2 Importancia.....	16
1.4 Hipótesis y descripción de variables.....	16
1.4.1 Hipótesis.....	16
1.4.2 Descripción de variables .....	17
<b>CAPÍTULO II</b> .....	19
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	19
2.1 Antecedentes del problema .....	19
2.1.1 Nacionales .....	19
2.1.2 Internacionales .....	21
2.2 Bases teóricas.....	26
2.2.1 La contaminación del suelo.....	26
2.2.2 Contenido y reacciones del cadmio en el suelo.....	28
2.2.3 Contenido y reacciones del plomo en el suelo .....	29
2.2.4 Relaciones suelo – planta del Cd.....	30
2.2.4 Relaciones suelo – planta del Pb .....	31
2.2.5 Indicadores de concentración de plomo y cadmio .....	31
2.2.6. El cadmio en el cultivo de papa.....	32

2.3 Definición de términos básicos .....	34
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>37</b>
<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>37</b>
3.1 Método, y alcance de la investigación .....	37
3.1.1 Método.....	37
3.1.2 Alcance de la investigación .....	37
3.2 Diseño de la investigación .....	38
3.2.2 Procedimiento experimental .....	39
3.3 Población y muestra.....	46
3.3.1 Población .....	46
3.3.2 Muestra .....	46
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	46
3.4.1 Materia seca de la planta .....	46
3.4.2 Análisis de plomo y cadmio en la planta .....	47
3.4.3 Análisis de plomo y cadmio en el suelo después del experimento .....	47
3.4.4 Procesamiento de los datos .....	47
<b>CAPITULO IV</b> .....	<b>49</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>49</b>
4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	49
4.1.1 Concentración de Pb y Cd en raíz .....	50
4.1.2 Concentración de Pb y Cd en tallos.....	51
4.1.3 Concentración de Cd y Pb en hojas.....	52
4.1.4 Concentración de Pb y Cd en tubérculo .....	53
4.1.5 Factor de bioconcentración (FBC) en la planta de papa.....	54
4.1.6 Factor de translocación (FT) en la planta de papa.....	55
4.1.7 Contenido de materia seca aérea .....	56
4.1.8 Concentración de Pb y Cd final en el suelo.....	56
4.2 Prueba de hipótesis .....	57
4.2.1 Hipótesis específica 1:.....	57
4.2.2 Hipótesis específica 2:.....	70
4.2.3 Hipótesis específica 3:.....	77
4.3 Discusión de resultados .....	81
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>85</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>86</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>87</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>100</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	18
Tabla 2. Tratamientos en estudio.....	38
Tabla 3. Georreferenciación de los puntos de muestreo.....	39
Tabla 4. Resultados del análisis de Pb y Cd en el suelo.....	49
Tabla 5. Resultados del contenido de Pb y Cd en raíces.....	50
Tabla 6. Resultados del contenido de Pb y Cd en tallos.....	51
Tabla 7. Resultados del contenido de Pb y Cd en hojas.....	52
Tabla 8. Resultados de la concentración de Pb y Cd en tubérculos.....	53
Tabla 9. Resultados del FBC de Pb y Cd.....	54
Tabla 10. Resultados del FT de Pb y Cd.....	55
Tabla 11. Resultados del contenido de materia seca aérea (g).....	56
Tabla 12. Resultados de la concentración de Pb y Cd en el suelo.....	56
Tabla 13. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para la concentración de Pb en tallos. .....	58
Tabla 14. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para la concentración de Pb en tallos. .....	59
Tabla 15. Análisis de variancia del contenido de Pb en tallos.....	59
Tabla 16. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para la concentración de Pb en hojas .....	60
Tabla 17. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para la concentración de Pb en tubérculos.....	62
Tabla 18. Análisis de variancia de concentración de Pb en tubérculos.....	62
Tabla 19. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para la concentración de Pb en hojas .....	63
Tabla 20. Análisis de variancia de concentración de Cd en hojas.....	63
Tabla 21. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para la concentración de Cd en tallos. .....	65
Tabla 22. Análisis de variancia de concentración de Cd en tallos.....	65
Tabla 23. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para la concentración de Cd en raíces.....	67

Tabla 24. Análisis de variancia de concentración de Cd en raíces.....	67
Tabla 25. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para la concentración de Cd en tubérculos. ....	69
Tabla 26. Análisis de variancia de la concentración de Pb en tubérculos. ....	69
Tabla 27. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para el FBC de Pb.....	70
Tabla 28. Análisis de variancia del FBC de Pb. ....	70
Tabla 29. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para el FBC de Cd. ....	71
Tabla 30. Análisis de variancia del FBC de Cd.....	71
Tabla 31. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para el FT de Pb. ....	73
Tabla 32. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para el FT de Cd. ....	74
Tabla 33. Análisis de variancia del FT de Cd. ....	74
Tabla 34. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para el contenido de materia seca..	76
Tabla 35. Análisis de variancia del contenido de materia seca. ....	76
Tabla 36. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para la concentración de Pb en el suelo. ....	78
Tabla 37. Análisis de variancia de concentración de Pb en el suelo. ....	78
Tabla 38. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para la concentración final de Cd en el suelo. ....	80
Tabla 39. Análisis de variancia de concentración de Cd en el suelo.....	80



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Obtención de una muestra individual (92).....	40
Figura 2. Mapa de ubicación de puntos de muestreo. ....	41
Figura 3. Muestreo de suelo, realizado en cada localidad .....	42
Figura 4. Después de homogenizado y la sub muestra para el análisis de suelo antes de la siembra .....	42
Figura 5. Secado de la muestra.....	43
Figura 6. Pesado de las muestras en cada maceta.....	43
Figura 7. Saturación con agua, de las muestras antes de la instalación.....	44
Figura 8. Siembra e identificación de unidades experimentales .....	44
Figura 9. Después del primer aporque.....	45
Figura 10. Después del segundo aporque .....	45
Figura 11. Diagrama metodológico del proceso experimental.....	47
Figura 12. Prueba de Kruskal Wallis para el contenido de Pb en raíces .....	58
Figura 13. Prueba de Kruskal Wallis para el contenido de Pb en Hojas .....	61
Figura 14. Prueba de Duncan para el contenido de Cd en hojas .....	64
Figura 15. Prueba de Duncan para el contenido de Cd en tallos .....	66
Figura 16. Prueba de Duncan para el contenido de Cd en raíces .....	68
Figura 17. Prueba de Duncan para el FBC de Cd.....	72
Figura 18. Prueba de Duncan para el FT de Pb .....	73
Figura 19. Prueba de Duncan para el FT de Cd.....	75
Figura 20. Prueba de Duncan para el contenido de materia seca .....	77
Figura 21. Prueba de Duncan para la concentración de Pb en el suelo, comparado al contenido inicial.....	79
Figura 22. Prueba de Duncan para la concentración final de Cd en el suelo comparado al contenido inicial.....	81

## RESUMEN

El siguiente proyecto tiene como objetivo, evaluar la concentración de cadmio y plomo en la planta de papa (*Solanum tuberosum* L.) en los suelos contaminados de: El Mantaro, Sincos, Huancaní y Mito, con la siguiente metodología: se obtuvo una muestra de la capa superficial del suelo agrícola debidamente analizado en sus propiedades físico químicas y contenido de Pb y Cd los que se colocaron en macetas con 10kg de capacidad y se sembró tubérculos - semilla de papa, en un diseño experimental completamente al azar, con tres repeticiones por cada tratamiento.

Se evaluó el contenido de Pb y Cd en las hojas, tallos, raíces y tubérculos, así como el contenido final en el suelo. Se calculó el Factor de Bioconcentración (FBC) y el Factor de Translocación (FT) para cada tratamiento.

Los resultados mostraron que el contenido de Pb y Cd superó los Límites Máximos Permisibles para este cultivo, concentrándose en la raíz. La materia seca fue disminuida por la concentración de Pb y Cd en el suelo y fue significativamente mayor en Huancaní; el FBC para Pb fue inferior a la unidad y para Cd fue alto en El Mantaro y Mito; el FT fue superior para Pb en El Mantaro y para Cd en Mito.

Los datos encontrados califican al cultivo de papa principalmente como fitoestabilizadora y moderadamente bioacumuladora y fitoextractora.

**Palabras clave:** metales pesados, plomo, cadmio.

## ABSTRACT

The following project aims to evaluate the concentration of cadmium and lead in the potato plant (*Solanum tuberosum* L.) in the contaminated soils of: El Mantaro, Sincos, Huancaní and Mito, with the following methodology: a sample of the superficial layer of the agricultural soil duly analyzed in its physical chemical properties and content of Pb and Cd, which were placed in pots with a capacity of 10kg and tubers were sown - potato seed, in a completely randomized experimental design, with three repetitions per each treatment.

The content of Pb and Cd in the leaves, stems, roots and tubers, as well as the final content in the soil, was evaluated. The Bioconcentration Factor (FBC) and the Translocation Factor (TF) were calculated for each treatment.

The results showed that the content of Pb and Cd exceeded the Maximum Permissible Limits for this crop, concentrating in the root. Dry matter was decreased by the concentration of Pb and Cd in the soil and was significantly higher in Huancani; the BCF for Pb was less than unity and for Cd it was high in El Mantaro and Mito; FT was higher for Pb in El Mantaro and for Cd in Mito.

The data found qualify the potato crop mainly as phytostabilizing and moderately bioaccumulating and phytoextracting.

**Keywords:** heavy metals, lead, cadmium.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación del suelo es un problema originado principalmente por la actividad antropogénica que afecta a las plantas, porque estas absorben los contaminantes y los transfieren a la cadena alimenticia provocando un riesgo potencial de contaminación a los humanos. Se presenta una variación natural en la absorción y distribución de elementos traza esenciales y no esenciales entre especies de cultivo y entre cultivares dentro de especies. Tales variaciones pueden ser responsables de las deficiencias y toxicidades que a su vez afectan la calidad de los alimentos (1).

En el Perú, uno de los principales productos de consumo alimenticio es la papa, la cual en los últimos años ha experimentado la incorporación de diversos insumos entre abonos, fertilizantes y pesticidas con posible contenido de metales pesados, como Cadmio (Cd) y Plomo (Pb), lo que ha disminuido la calidad de los productos y ha impactado negativamente el suelo donde se cultiva (2).

La exposición o ingesta de productos alimenticios que contengan metales pesados, está relacionada con problemas de salud. En el caso del Cd, está considerado como uno de los principales elementos cancerígenos y el Pb afecta el sistema nervioso de los organismos (3).

En el valle del Mantaro, uno de los cultivos, cuyos tubérculos son de mayor consumo, es la papa, por lo que su crecimiento en suelos contaminados tiene el riesgo potencial de aportar contaminantes a nuestra dieta diaria. Esto hace necesario la evaluación del contenido de Cd y Pb en la planta de papa, sus indicadores de acumulación y la presencia en suelos contaminados.

El presente trabajo consta de cuatro capítulos: el capítulo I, comprende la caracterización y planteamiento del problema, los objetivos del estudio, variables y su operacionalización; el capítulo II, incluye el marco teórico donde se reportan los antecedentes nacionales, internacionales y las bases teóricas fundamentadas en la contaminación del suelo, comportamiento del Pb y Cd, las relaciones suelo - planta, importancia del cultivo de papa y la definición de términos básicos; el capítulo III,

comprende la metodología donde se detallan el método y alcance de la investigación, diseño utilizado, técnicas e instrumentos de recolección de datos; el capítulo IV, reporta los resultados y discusión, validados con las pruebas estadísticas y su discusión en base a los antecedentes reportados.

Seguidamente se presentan las conclusiones del trabajo, basado en los objetivos y las recomendaciones derivadas de este trabajo de investigación.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Planteamiento y formulación del problema

#### 1.1.1 Planteamiento del problema

Los metales pesados como el cadmio (Cd) y el plomo (Pb) son tóxicos y carecen de una función biológica, pero ingresan a la planta, usando los mismos mecanismos que la absorción de nutrientes esenciales y son extremadamente reactivos y tóxicos (4).

El cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.), crece en diferentes tipos de suelo, inclusive con altos contenidos de metales pesados contaminantes, incluyendo el Cadmio y Plomo, además, puede acumular altos niveles de estos contaminantes en los tubérculos, con diferencias ambientales involucradas en las características de absorción (5).

El suelo es un recurso y constituye un medio en el cual se desarrollan las plantas en los diferentes ecosistemas. Sobre él se realizan una serie de actividades antropogénicas y durante los últimos años se ha visto afectado por el uso intensivo de fertilizantes y la contaminación. Consecuencia de ello, es la acumulación de metales pesados, como es el caso del cadmio y el plomo, resultado de un amplio uso industrial.

La presencia de metales pesados en el medio ambiente es una gran amenaza para los seres humanos, debido a su toxicidad (6). Las concentraciones de los metales pesados en el ambiente se deben mayormente a la actividad antropogénica que cada día se incrementa y conlleva al problema de toxicidad potencial con efectos nocivos para la salud y el desequilibrio ecológico. La contaminación con metales pesados es uno de los temas más importantes en la actualidad, debido a que están presentes en el agua, suelo, aire y alimentos (7).

El valle del Mantaro a nivel del centro del Perú, constituye una de las principales zonas de cultivo de maíz, papa, alfalfa, cebada y amiláceo (8). La producción de papa en la región contribuye en la producción nacional y ocupa el quinto lugar a nivel nacional (9).

El Perú dispone de una significativa diversidad vegetal y dentro de ésta se muestran diferentes especies y variedades cultivadas de papa. Sin embargo, escasos son los estudios que demuestran las particularidades de la planta de papa para absorber, translocar y acumular metales pesados presentes en la solución suelo (10).

La concentración del cadmio en los suelos muestreados del valle del Mantaro supera los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de suelos del Perú (11), también en algunos suelos como en las localidades de Muki y Mantaro la concentración de plomo sobrepasa el Estándar de Calidad Ambiental (12).

En este caso nos centraremos en el cadmio y plomo, metales pesados no esenciales para las plantas y muy tóxicos, cuya concentración en el suelo se incrementa progresivamente debido a actividades antropogénicas, tales como la minería, fundición de metales, quema de combustibles fósiles, uso de fertilizantes fosfatados, fabricación de baterías, pigmentos y plásticos (13).

## **1.1.2 Formulación del problema**

### **1.1.2.1 Problema general**

¿Cuál es la concentración de cadmio y plomo en la planta de papa (*Solanum tuberosum* L.), cultivada en suelos contaminados de: El Mantaro, Sincos, Huancaní y Mito 2020?

### **1.1.2.2 Problemas específicos**

- ✓ ¿Cuál es la concentración de cadmio y plomo en las raíces, tallos, hojas y tubérculos de la planta de papa (*Solanum tuberosum* L.)?
- ✓ ¿Cómo varían los factores de bioconcentración (FBC), de translocación (FT) y el contenido de materia seca en la planta de papa?
- ✓ ¿Cómo influye el cultivo de papa en la concentración final de Cd y Pb en los suelos de El Mantaro, Sincos, Huancaní y Mito?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Evaluar la concentración de cadmio y plomo en la planta de papa (*Solanum tuberosum* L.) cultivada en los suelos contaminados de: El Mantaro, Sincos, Huancaní, Mito 2020.

## 1.2.2 Objetivos específicos

- ✓ Determinar la concentración de cadmio y plomo en raíces, tallos, hojas y tubérculos de la planta de papa (*Solanum tuberosum* L.).
- ✓ Calcular los factores de Bioconcentración, translocación de Cd, Pb y el contenido de materia seca aérea en la planta de papa.
- ✓ Determinar la concentración final de Cd y Pb en los suelos de El Mantaro, Sincos, Huancaní y Mito.

## 1.3 Justificación e importancia

### 1.3.1 Justificación

#### 1.3.1.1 Teórica

La absorción de Cd y Pb por el cultivo de papa y su acumulación en cada uno de sus órganos, nos dará mayores conocimientos sobre la presencia de estos dos metales pesados en el cultivo y en nuestra zona. Siendo la papa un producto alimenticio por sus tubérculos, su riesgo potencial de toxicidad puede superar los límites permisibles, considerando que su crecimiento y desarrollo depende de factores como las propiedades del suelo en cada lugar de cultivo y el nivel de contaminación que exista.

#### 1.3.1.2 Metodológica

El presente trabajo de investigación es de tipo experimental cuantitativo y evaluará la absorción de contaminantes por el cultivo de papa, utilizando suelos contaminados en un ambiente ex - situ, utilizando indicadores como el factor de bioconcentración (FBC) y el factor de translocación (FT), para determinar si *Solanum tuberosum* L. es una especie bioacumuladora ( $FBC > 1$ ,  $FT > 1$ ), fitoestabilizadora ( $FBC > 1$ ,  $FT < 1$ ), fitoextractora ( $FBC < 1$ ,  $FT > 1$ ).

#### 1.3.1.3 Práctica

Este trabajo contribuirá a entender la influencia del cadmio y el plomo en el suelo en diferentes distritos del Valle del Mantaro, así como su concentración en los tubérculos, hojas y tallos de la planta de papa. Además, nos ayudará a comprender que esta, es una de las entradas para los contaminantes en la cadena trófica que va en aumento y se dispersan en diferentes sistemas biológicos e incluso en el hombre, con efectos negativos en la salud, por ello



la necesidad de crear conciencia sobre los impactos que tiene el cadmio y el plomo tanto en los suelos, plantas como en las personas.

### 1.3.2 Importancia

La información de contenido de Pb y Cd en cultivos alimenticios, como la papa, permitirá replantear o mejorar la eficiencia de remediación de los suelos contaminados con estos metales pesados, utilizando técnicas accesibles a los productores, como la utilización de técnicas biológicas, aplicando enmiendas orgánicas (vermicompost, estiércol, biochar) o inorgánicas (encalado) que disminuyan la disponibilidad de estos elementos en el suelo.

## 1.4 Hipótesis y descripción de variables

### 1.4.1 Hipótesis

#### 1.4.1.1 Hipótesis general

**Hipótesis nula (H0):** La concentración de cadmio y plomo en la planta de papa (*solanum tuberosum* L.), cultivada en suelos de El Mantaro, Sincos, Huancaní y Mito, supera los valores permisibles.

**Hipótesis alterna (H1):** La concentración de cadmio y plomo en la planta de papa (*solanum tuberosum* L.), cultivada en suelos de El Mantaro, Sincos, Huancaní y Mito, no supera los valores permisibles.

#### 1.4.1.2 Hipótesis específicas

- ✓ La concentración de cadmio y plomo en las raíces, tubérculos, tallos y hojas de la planta de papa (*Solanum tuberosum* L.), que se cultiva en los suelos de El Mantaro, Sincos, Huancaní y Mito, supera los valores límite permisibles para cultivos alimenticios.
- ✓ Los FBC y FT para Cd y Pb, son mayores que la unidad y disminuyen la formación de materia seca aérea en la planta de papa.
- ✓ El contenido de Pb y Cd en el suelo, disminuye significativamente debido a la absorción por el cultivo de papa en los suelos de El Mantaro, Sincos, Huancaní y Mito.

#### 1.4.2 Descripción de variables

***Variable independiente:***

X: contenido de cadmio y plomo en el suelo

Indicador:

mg Cd /kg

mg Pb/kg

***Variable dependiente:***

Y<sub>1</sub>: concentración de cadmio y plomo en la planta de papa.

Y<sub>2</sub>: mg Cd o Pb/kg de materia seca.

**Tabla 1. Operacionalización de variables**

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
<b>Independiente</b> (X1): Contenido de Pb y Cd en el suelo.	La contaminación por metales pesados del suelo y los cultivos alimenticios es un problema ambiental resultado de la industrialización descontrolada, urbanización insostenible y prácticas agrícolas intensivas. Al ser elementos tóxicos representan una amenaza para la calidad del suelo, seguridad alimentaria y salud humana (15).	mg.kg <sup>-1</sup>	>1.4 mg Cd.kg <sup>-1</sup>
			>70 mg Pb.kg <sup>-1</sup>
<b>Dependientes</b>  Y <sub>1</sub> : Concentración de Cd y Pb en planta de papa.  Y <sub>2</sub> : Contenido de materia seca.	La acumulación de metales pesados en los cultivos alimenticios en áreas contaminadas, depende los factores del suelo y de las especies de plantas (14).	Factor de Bioacumulación (FB)	FB = (Contenido contaminante planta/Contenido contaminante en el suelo)
		Factor de translocación (FT)	FT = ((Contenido contaminante hojas/Contenido contaminante en la raíz)
	Contenido de materia seca orgánica que es producida desde las actividades esenciales de fotosíntesis y metabolismo de proteínas (92).	g	Peso seco de planta de papa

**Fuente:** Elaboración propia

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes del problema

##### 2.1.1 Nacionales

En el trabajo titulado “Determinación de las concentraciones de cadmio y plomo en papa (*solanum tuberosum*) cosechada en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta-Cajamarca” tuvo como objetivo determinar y comparar las concentraciones de cadmio y plomo en papas (*Solanum tuberosum*, variedades: Peruanita, Huagalina, Yungay y Pericholi). Se recolectaron 40 muestras de 1kg de tubérculos de papa. La concentración de cadmio superó los límites máximos permisibles establecidos por el Codex Alimentarius para papa, 0.1 ppm. Con un promedio de 0.3078 ppm en la cuenca del río Chonta y 0.3095 ppm en la cuenca del río Mashcón y la concentración de plomo en las muestras de papa resultaron no detectables, concluyéndose que, hay presencia de cadmio en la papa, pero no de plomo (16).

En el trabajo de investigación titulado: “Evaluación de la concentración de cadmio en áreas de cultivo de papa (*Solanum tuberosum* sp.) de la localidad Cohechán, distrito de Conila, provincia de Luya, departamento de Amazonas - 2016”, tuvo como objetivo, determinar la concentración de cadmio en las áreas de cultivo de papa, seleccionando a través de encuestas, lugares que tengan la misma variedad. Se obtuvieron muestras de tubérculo, hojas, suelo de cultivo y suelo aledaño, cada una en un número de seis. Los análisis de cadmio en el suelo mostraron que el 50% de las muestras no son aptas para uso agrícola, siendo la parcela 4 la que presentó mayor concentración de cadmio, con un promedio de 3,99 ppm; el 83% de las muestras de tubérculo, representan un riesgo para la salud, siendo la de mayor concentración la parcela 2 con un promedio de 0,23 ppm donde las hojas presentaron niveles altos de cadmio, resaltando la parcela 6 con 7,09 ppm (17).

En el trabajo de investigación titulado: “Efecto de cuatro concentraciones de plomo sobre el crecimiento e índice de tolerancia de plántulas *in vitro* de papa”, tiene como objetivo, determinar el efecto de cuatro concentraciones de plomo sobre el cultivo de papa *in vitro* (*Solanum tuberosum* L. var. “Poderosa”). Este

proyecto, utilizó el diseño experimental completamente Randomizado. Las concentraciones de plomo fueron 0.00 (T1); 310.77 (T2); 621.54 (T3) y 932.31 (T4) ppm, permaneciendo por 30 días bajo condiciones de laboratorio. Los resultados mostraron que, a mayor concentración de plomo, menor es el crecimiento e índice de tolerancia de las plántulas de papa. Las plántulas del control presentaron el 100% de crecimiento con una biomasa aérea promedio de 0.80 g y las plántulas de menor biomasa fueron las que crecieron a la mayor concentración de plomo. El tratamiento T3 mostró una longitud promedio de 7.28 cm, mostrando el 65% de plántulas tolerantes al plomo y el tratamiento T1 con 11.34 cm representa el 100% de tolerancia de plántulas frente al metal pesado (10).

En el trabajo de investigación titulado: “Metales pesados en tres variedades de *Solanum tuberosum* L. (papa) expendidos en el mercado mayorista de Santa Anita (Lima -, Perú)”, se realizó la cuantificación de los metales As, Cd, Pb y Hg en tres variedades de papa: Huayro, Canchán y Amarilla, provenientes de la provincia de Ambo, departamento de Huánuco, de cada variedad se colectó 15 muestras, haciendo un total de 45 ejemplares. La concentración de Hg varió de 0.0983 a 0.2594 mg/kg; Cd de 0.0073 a 0.0287 mg/kg; Pb de 0.0600 a 0.1018 mg/kg y As de 0.0003 a 0.0004 mg/kg. El Hg en las tres variedades superó el Límite Máximo Permisible (LMP) de la Unión Europea (0.02 mg/kg). El Cd y As en las tres variedades se encontraron debajo del LMP DE Codex Alimentarius y Mercosur. El Pb en las variedades Canchán y Huayro se encontraron debajo del LMP (0.1 mg/kg), pero superior en la variedad Amarilla (19).

En el trabajo de tesis titulado: “Cuantificación de la concentración de plomo y cadmio en quinua (*Chenopodium quinoa* Wild) expendida en Lima Metropolitana comparada con los parámetros establecidos por la Unión Europea y Mercosur”, se recolectaron 10 muestras de quinua de diferentes variedades comercializadas en Lima, con el objetivo de conocer la concentración de Pb y Cd. El nivel promedio de Pb es 0.22 mg/kg y de Cd fue de 0.11 mg/kg, superando el Límite Máximo Permisible (LMP) de la Unión Europea y Mercosur, que es de 0,2 mg/kg y 0,1 mg/kg, respectivamente. Se observó que un 50% de las muestras superó el LMP. El coeficiente de correlación de Pearson entre ambos contenidos fue de 0.4737, demostrando la relación de estos metales pesados en Pb y Cd (20).

### 2.1.2 Internacionales

En el trabajo de investigación titulado: “Capacidad de absorción de la planta de papa *Solanum tuberosum* ssp. *Andígena*, en un suelo contaminado con plomo” tuvo como objetivo, reducir la concentración de plomo presente en el suelo mediante la utilización del cultivo de papa. Las semillas a sembrar fueron seleccionadas según su color, consistencia, densidad, peso y tamaño, además de desinfectarlas para eliminar cualquier tipo de patógeno presente que pueda afectar su crecimiento. La siembra se realizó utilizando abono orgánico y químico. Las plantas fueron muestreadas con una frecuencia de 7 días hasta los 91 días de crecimiento vegetal. Los resultados demostraron que la planta de papa Superchola, tiene capacidad de acumular plomo, además de extraer el 48,41% para el tratamiento con 150 ppm de Pb, presentando un efecto negativo en la productividad, como consecuencia de las altas concentraciones de Pb (18).

En el trabajo de investigación titulado: “Cadmium toxicity and soil biological index under potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivation”, se condujo un experimento, donde se agregó 0, 15, 30, 45 y 60 mg Cd.kg<sup>-1</sup> a 10 kg de suelo/maceta. Los más altos niveles de Cd, disminuyeron el carbono en la biomasa microbial, nitrógeno, fósforo, así como la actividad de las enzimas deshidrogenasa, fosfatasa y ureasa. La dosis más alta de Cd disminuyó el peso fresco y seco del tallo y raíz, conteniendo clorofila, carotenoides y absorción de macro y micronutrientes en tallos y raíces. También los niveles altos de cadmio incrementó la relación entre C:N y C:P en biomasa, Cd extractable del suelo y absorción de Cd en raíz y tallo de papa al final de 60 días del experimento. Se concluyó que la contaminación de Cd afectó substancialmente los índices biológicos y del crecimiento de la papa (21).

En el trabajo de investigación titulado: “Evaluating the levels of cadmium, lead and nickel present in *Solanum tuberosum* L. (Iris Potato) marketed in industrialized areas of Ogun State, Nigeria”, se obtuvieron muestras de tubérculos de diferentes mercados, las muestras de la cáscara y tejidos fueron tratados para determinar Cd, Ni y Pb mediante absorción atómica. Las concentraciones de Cd y Ni estuvieron dentro de los límites establecidos por WHO/FAO, mientras que el Pb excedió los límites permisibles. En la cáscara del tubérculo, el contenido de los tres metales pesados excedió los límites

permisibles. Se concluye que la presencia y concentración de metales pesados en los tubérculos de papa pueden constituir una gran amenaza para la seguridad alimentaria (22).

En el trabajo de investigación titulado: “Prediction of cadmium transfer from soil to potato in karst soils, China”, se recolectó 105 muestras de campo para investigar la transferencia de Cd del suelo al tubérculo. Los resultados mostraron que el factor de bioacumulación (FBC) varió de 0.1 a 1.0 y el contenido de Cd en el suelo varió de 0.15 a 37.4 mg.kg<sup>-1</sup>. Los modelos de transferencia de Cd se basaron en propiedades del suelo y concentración de Cd en el suelo. La transferencia de Cd desde el suelo con alta concentración de Cd a los tubérculos de papa estuvo altamente correlacionada con pH, materia orgánica y Cd extractable con CaCl<sub>2</sub>. Estos resultados muestran que el modelo de probabilidad y el modelo empírico pueden describir adecuadamente la transferencia de Cd desde el suelo al cultivo (23).

En el trabajo de investigación titulado: “Effect of cultivar type and soil properties on cadmium concentrations in potatoes”, se midió las concentraciones de Cd en diez cultivos comerciales de papa en tres lugares en Nueva Zelanda para evaluar qué factores del suelo afectan la concentración de Cd. Las concentraciones encontradas en tubérculos variaron de 0.004 a 0.574 mg.kg<sup>-1</sup> de materia seca (0.001 a 0.113 mg.kg<sup>-1</sup> peso fresco), considerados más bajos que el 0.1 mg.kg<sup>-1</sup> materia fresca para consumo humano. Se encontró diferencias significativas en concentración de Cd entre en el lugar y las variedades de papa. No se encontró relaciones significativas entre propiedades del suelo y contenido de Cd en tubérculos. Se concluye que el manejo del cultivo es el factor más importante para evitar la acumulación en tubérculos en suelos con alto contenido de Cd (24).

En el trabajo de investigación titulado: “Effect of biochar on heavy metal accumulation in potatoes from wastewater irrigation” se desarrolló un experimento para explicar el destino y transporte de seis metales pesados (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb y Zn), aplicados a través del agua de riego al cultivo de papa (cv. Russet Burbank) en un suelo arenoso, con aplicación de biochar de cáscara de plátano al 1%. Se tuvo un tratamiento de control y dos tratamientos con agua contaminada, en un diseño completamente randomizado, con 9 lisímetros. Se

sembró el cultivo y se regó cada 10 días y se colectó el lixiviado. Las muestras de suelo colectadas dos días después de cada riego, mostraron que todos los metales pesados se acumularon en la superficie del suelo. No se detectó metales pesados en el lixiviado. Todas las partes del cultivo de papa contenían metales pesados. El biochar disminuyó la concentración de Cd y Zn en pulpa y cáscara de papa, comparado al control. La concentración de metales pesados fue mayor en la cáscara que en la pulpa del tubérculo, concluyendo que el consumo de tubérculos de papa regada con aguas residuales tiene un alto riesgo para la salud humana (25).

En el trabajo de investigación titulado: “Bioaccumulation of cadmium in potato tuber grown on naturally high levels cadmium soils in Jamaica”, tuvo como objetivo determinar los niveles de Cd en los suelos en Jamaica y su bioacumulación en tubérculos de papa y determinar los factores del suelo que influyen en su bioacumulación. La concentración de Zn y el pH fueron los factores determinantes en la acumulación de Cd en tubérculos de papa. El suelo tuvo un rango de 0.05 a 62.3 mg Cd.kg<sup>-1</sup> y el tubérculo entre 0.01 a 0.22 mg Cd.kg<sup>-1</sup> de peso fresco, representando hasta un 50% más alto que lo recomendado por la Organización Mundial de Salud (WHO), lo cual significa un riesgo para la salud humana en Jamaica (26).

En el trabajo de investigación titulado: “Factors affecting heavy metals accumulation in potato tubers”, tuvo como objetivo comparar el grado de acumulación de Zn, Cu, Ni, Pb y Cd en tubérculos de tres variedades de papa en suelos con diferente contenido de metales pesados, humus y pH del suelo. Las formas móviles de Pb en el suelo (0.100 – 0.295 mg.kg<sup>-1</sup>) mayor que el valor crítico, resultó en alto contenido de Pb en tubérculos (0.244 – 0.855 mg.kg<sup>-1</sup>). Se encontró alta correlación significativa entre el contenido de Pb en tubérculos y el suelo, así como entre pH del suelo y contenido de Pb en tubérculos. No se tuvo correlación entre contenido de humus del suelo y contenido de Pb en tubérculos (27).

En el trabajo de investigación titulado: “Riesgo agroambiental por metales pesados en suelos con cultivares de *Oriza sativa* L. y *Solanum tuberosum* L.”, tuvo como objetivo determinar los contenidos de Cu, Ni, Cd y Pb en los cultivos de papa y para el caso del arroz Cu, Zn y Pb así como el comportamiento de



algunos indicadores bioquímicos fisiológicos en la comunidad de Guinez - Cuba. Se determinaron los pigmentos fotosintéticos totales de clorofila y carotenoides a los 40 días después de la siembra (dds), el contenido de metales pesados y la actividad de la catalasa a los 60 dds. para el cultivo de arroz. Para el cultivo de papa se evaluó el contenido de metales pesados en tubérculos, hojas y tallos; en el suelo a los 95 dds. se detectaron altos niveles de metales pesados en sus órganos sin síntomas de fitotoxicidad, así como en los suelos y después de la cosecha, las cifras son alertadoras (28).

En el trabajo de investigación titulado: "Differences in absorption of cadmium and lead among fourteen sweet potato cultivars and health risk assessment" se realizó un experimento de campo con catorce de tres tipos principales (almidón, morado y comestible) de cultivares de camote cultivados en tierras de cultivo contaminadas con cadmio (Cd) y plomo (Pb) en el este de la provincia de Hunan, China. Se midió concentraciones de Cd y Pb en los tejidos, así como el rendimiento. Los rendimientos de tallos y raíces tuberosas variaron de 14.59 a 68.75 y 26.35 a 50.76 t/ha con valores promedio de 33.46 t/ha. Los cultivares de tipo almidón tuvieron las más bajas concentraciones en la pulpa, pero mayores en el tallo. Las concentraciones más bajas de Cd y Pb en la pulpa fueron de los cultivares Shangshu 19, Sushu 24, Yushu 98, y Xiangfhu 98 (29).

En el trabajo de investigación titulado: "Evaluating the levels of Cadmium, Lead and Nickel present in *Solanum tuberosum* L. (Irish potato) marketed in industrialized areas of Ogun State, Nigeria", tuvo como objetivo evaluar la significancia de la contaminación de metales pesados (Cd, Ni y Pb) sobre la cáscara de la papa irlandesa. Las muestras fueron compradas entre los mercados de Sagamu, Ogijo y Sango. Las muestras de tejidos y cáscara fueron pre-tratadas usando digestión ácida y la concentración de los metales pesados usando Spectrofotometría de Absorción Atómica. Las concentraciones de los metales en los tejidos estuvieron dentro de los límites permisibles establecidos por WHO/FAO, sin embargo, la concentración de los metales en la cáscara de las muestras excedió los límites permisibles. La presencia y concentración de las industrias tiene consecuencias significativas sobre la presencia de metales pesados en tubérculos de papa lo cual constituye una gran amenaza para la seguridad y salud de los consumidores (30).

El trabajo de investigación titulado: “Cadmium toxicity and soil biological index under potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivation”, tuvo como objetivo evaluar los efectos del Cd sobre los índices biológicos del suelo con cultivo de papa. Se agregó Cd en forma de  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  en dosis de 0, 15, 30, 45 y 60 mg/kg a macetas de 10 kg de suelo, cada uno con tres repeticiones. Todos los parámetros del suelo y de la planta disminuyeron con todos los tratamientos; sin embargo, los niveles altos tuvieron un efecto sorpresivo significativo. Los niveles altos de Cd disminuyeron el carbono de la biomasa microbial, nitrógeno, y fósforo, así como la actividad de la enzima deshidrogenasa, fosfatasa, y ureasa. También se disminuyó el pH, longitud de raíz y tallo de planta, peso fresco y seco de tallo y raíz, contenido de clorofila, contenido de carotenoides, y absorción de macronutrientes y micronutrientes en tallos y raíces de papa. Contrariamente, los más altos niveles de Cd incrementaron significativamente la relación C:N y C:P en la biomasa, el Cd extractable del suelo, y absorción de Cd en raíces y tallos de papa, después de 60 días del experimento. La contaminación de Cd afecta substancialmente los índices biológicos del suelo y el crecimiento de papa. La biomasa microbial del suelo, las actividades enzimáticas, pH y parámetros fisiológicos de papa podrían ser usados como indicadores sensitivos para evaluar efectos ambientales en el ecosistema suelo (31).

En el trabajo de investigación titulado: “Effect of biochar on heavy metal accumulation in potatoes from wastewater irrigation”, se tuvo como objetivo entender el efecto del biocarbón de piel de plátano sobre la absorción de metales pesados en plantas de papa regadas con aguas residuales. Los elementos pesados evaluados fueron: Cd, Cr, Cu, Fe, Pb y Zn. La papa fue sembrada, irrigada en un intervalo de 10 días y se colectó el lixiviado. Las muestras de suelo colectadas dos días después de cada riego mostraron acumulación de metales pesados (Fe, Pb y Zn) en la superficie del suelo, detectados a 0.1 m de profundidad. No se detectó metales en el lixiviado. Todas las porciones de la planta de papa (pulpa y cáscara del tubérculo, hoja, tallo y raíz de la planta) contenían metales pesados. La enmienda de biochar aplicada al suelo solo redujo significativamente las concentraciones de Zn y Cd en la pulpa de los tubérculos y la cáscara comparado al control. Las concentraciones de metales pesados fueron significativamente más bajas en la pulpa del tubérculo que en la cáscara, sugiriendo que cuando se

consume papa cultivada con aguas residuales, la cáscara posee un alto riesgo para la salud (32).

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 La contaminación del suelo**

El suelo se constituye como un recurso natural que recibe en forma primaria gran cantidad de residuos, productos químicos y diversas sustancias, resultado de la actividad humana. Anualmente, millones de toneladas de productos de naturaleza agrícola, doméstica e industrial han ingresado al suelo, convirtiéndose así en un receptor natural, en diferentes partes del mundo. Estas sustancias ingresan a los ciclos geoquímicos de los elementos en la naturaleza y afectan las diversas formas de vida (33).

Para que se contamine el suelo, los metales o metaloides tienen que ser transportados desde algún lugar en particular. Los principales mecanismos por los cuales los metales o metaloides pesados son transportados al suelo, son (34):

- ✓ Movimiento de corrientes de aire y deposición de polvos, partículas de tamaño de aerosol y formas gaseosas de metales.
- ✓ Movimiento de agua seguido por deposición de metales y metaloides que contiene el suelo en pendientes bajas o en un suelo aluvial en el caso de una llanura de inundación.
- ✓ Movimiento en pendiente descendente de rocas ricas en metales y materiales minerales contaminados o suelo por gravedad.
- ✓ Deposición por aspersores de abonos, camiones y movimiento de tierras de materiales conteniendo metales pesados.

Las concentraciones naturales de metales pesados en los suelos dependen primariamente del tipo y naturaleza química de los materiales parentales que dan origen a los suelos. Sin embargo, las entradas antropogénicas pueden conducir a concentraciones mucho mayores que las concentraciones naturales. De los datos publicados, el cadmio, plomo, estaño y mercurio son los más abundantes contaminantes metálicos introducidos al suelo por actividades antropogénicas. La concentración promedio de Cd en los suelos es seis veces más que el promedio de

la corteza terrestre. La concentración de Pb en los suelos es el doble del promedio en la corteza terrestre (35).

Un contaminante, es cualquier compuesto químico de origen natural o antropogénico que se acumula en el suelo y cambia su equilibrio natural como resultado de la actividad humana. Sin embargo, nuestra sociedad no puede desarrollarse sin el uso de compuestos naturales y sintéticos que pueden ser agregados a los diferentes ecosistemas. El arte de salvaguardar el ambiente consiste en minimizar la cantidad de compuestos que salen del sistema y llegan a la superficie terrestre y restringir en lo posible los sitios de generación de contaminación controlando los hábitos de disposición (36).

Considerando que el suelo es la base de la agricultura, todos los cultivos que son fuente de alimentos para los humanos y animales, dependen de él. Este recurso se constituye en un recipiente de cantidades enormes de residuos generados por el hombre. En la proximidad de las ciudades, los suelos se constituyen en receptores de diferentes residuos, incluyendo lodos y residuos industriales. Así también, si el agua está contaminada, por ende, contamina el suelo. La contaminación del suelo es una consecuencia de los malos hábitos de la disposición de residuos sólidos y líquidos, así como las diferentes prácticas agrícolas y por último la deposición atmosférica (37).

Conforme con el tratamiento de los suelos, se constituye una práctica importante el manejo de los residuos, ya que el suelo está siendo visto más como una principal fuente de metales pesados que alcanzan los canales alimenticios, principalmente a través de la absorción por la planta y transferencia de los animales. La disposición de estos residuos conduce a generar un almacenamiento significativo en el suelo de un amplio rango de metales, tales como Cd, Cr, Cu, Hg, Pb y Zn, y metaloides, tales como As, Cr y Se. La entrada de metales de un determinado suelo en los canales alimenticios, depende de la cantidad, fuente del metal, las propiedades del suelo (especialmente pH, materia orgánica y contenido de arcilla), la tasa y magnitud de absorción por las plantas y la extensión de absorción por el pastoreo de animales. La acción “limpiadora” del suelo está controlada mayormente por reacciones físico-químicas de metales con los componentes del suelo que llevan carga superficial y las transformaciones bioquímicas que involucran a los microorganismos del suelo (38).

### 2.2.2 Contenido y reacciones del cadmio en el suelo

El cadmio (Cd) es un metal no esencial para las plantas y animales, sin embargo, está naturalmente presente en todos los suelos. Las concentraciones comunes en los suelos son algunas veces mayores que los valores originales debido a la adición de las deposiciones atmosféricas y el uso de fertilizantes fosfatados. La concentración de Cd en el suelo representa solo una mínima fracción ( $10^{-4} - 10^{-6}$ ) del total de cationes intercambiables o de la solución suelo. Por lo tanto, su presencia es improbable que afecte a las reacciones químicas del suelo, pero el Cd puede afectar la función del ecosistema en niveles traza debido a su pronunciada toxicidad y su permanencia a través del tiempo ya que no solo se excede a décadas sino también porque su biodisponibilidad no disminuye a largo plazo (39).

El cadmio en los suelos está casi invariablemente presente en estado de oxidación Cd(II), no es un metal de transición sino, participa en enlaces covalentes con superficies adsorbentes, por lo tanto, es menos soluble que cationes como el  $\text{Ca}^{+2}$  (40).

Los modelos de especiación predicen que la mayor parte del Cd está enlazado a la materia orgánica en los suelos con  $\text{pH} < 6.5$ , mientras que los óxidos de Fe son los más importantes constituyentes adsorbentes a  $\text{pH} > 6.5$  (41).

El cadmio es liberado al ambiente en cantidades variables desde actividades antropogénicas y naturales como las erupciones volcánicas, los incendios forestales, el polvo llevado por el viento y la brisa marina, la meteorización de las rocas parentales también contribuye a la liberación de Cd a la atmósfera (42). Las rocas máficas y ultramáficas contienen altas cantidades de Cd y también son liberadas al suelo después de la meteorización (43). Las pizarras negras contienen hasta 100 mg Cd/kg y el suelo derivado de estos depósitos se enriquecen con Cd (44). Las concentraciones promedio de Cd en lutita y limolita fue de 4.6 mg/kg, mientras que en rocas carbonatadas fue de 1,7 mg/kg, colectadas de la región de las tres Gargantas en Jianping (42).

La contaminación de suelos por Cd liberado de fuentes naturales es variable en diferentes países. Sin embargo, la contribución total de fuentes naturales hacia la

contaminación de Cd en el suelo representa el 10% comparado a la liberación total de otras fuentes (45).

Aproximadamente el 90% ( $5.6 - 38 \times 10^6$  kg/año) del Cd es liberado al ambiente de fuentes antropogénicas incluyendo el uso de fertilizantes fosfatados, quema de combustibles fósiles, actividades metalúrgicas, residuos de la industria del cemento, lodos de aguas residuales, residuos industriales y municipales y el procesamiento de la actividad minera (46).

Basado en los hallazgos de la British Geological Survey, la producción mundial de Cd en el 2015 fue aproximadamente de 24900 toneladas métricas (47); en el 2016, la producción mundial de Cd fue de 23000 toneladas métricas, excluyendo Estados Unidos (48). La actividad minera libera Cd al suelo desde los sitios mineros a los campos cercanos. El Cd se encuentra en todos los tipos de minerales de zinc (Zn) como elemento acompañante debido a la similitud geoquímica, por lo tanto, cantidades sustanciales de Cd se liberan al medio ambiente durante su fundición y producción a través del polvo, el cual contiene grandes cantidades de Cd que son liberados a la atmósfera y tienen un corto tiempo de residencia y son depositados localmente (49).

### **2.2.3 Contenido y reacciones del plomo en el suelo**

El Pb se presenta en los suelos predominantemente en forma de catión divalente. En suelos reducidos se presenta precipitado como PbS insoluble. Se hace menos soluble con el incremento del pH en la solución suelo, debido a la complejación con la materia orgánica, adsorción a óxidos y minerales de arcilla silicatados o precipitado como carbonato, sulfato o fosfato. En suelos alcalinos, la solubilidad puede incrementarse debido a la formación de complejos orgánicos solubles de Pb solubles e hidróxidos (50).

El comportamiento químico del Pb en el suelo, depende mucho del contenido de materia orgánica. El plomo está fuertemente adsorbido a la materia orgánica y al pH alrededor de 4(51). El enlace de Pb a las fracciones húmicas es predominantemente como un complejo monodentado, ya que se observaron pequeñas diferencias entre fracciones de tamaño diferente y se sugirió que el enlace del Pb a las sustancias húmicas no está afectado por diferencias en su

composición química. Con la excepción del Hg y Cu, el enlace del Pb a las sustancias húmicas es más fuerte que otros metales pesados y metaloides (52).

En ausencia de cantidades apreciables de materia orgánica, el Pb está fuertemente adsorbido en minerales de arcilla (53) y óxidos de hierro (54). El plomo es generalmente adsorbido que otros metales pesados, como Cu, Zn, Cd y Ni (55). La adsorción del Pb se presenta primariamente en la fracción de arcilla del suelo (56). La adsorción de Pb en suelos agrícolas está correlacionada con el pH, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), contenido de materia orgánica, contenido de arcilla y  $\text{CaCO}_3$  (57). Se ha reportado que la materia orgánica en los suelos adsorbe más Pb que los minerales de arcilla (58). Otros investigadores observaron que la adsorción de Pb en oxisols fue mayor que la cantidad de carga superficial negativa, indicando la participación del Pb en reacciones superficiales de esfera interna (59).

#### **2.2.4 Relaciones suelo - planta del Cd**

El cadmio no tiene un rol fisiológico conocido en las plantas superiores, pero es fácilmente absorbido del suelo y es translocado a los tejidos aéreos de la planta (60). Se reportan tres principales caracteres de absorción de Cd:

- ✓ **Biodisponibilidad relativamente alta:** las concentraciones de Cd en el cultivo son mayores que las concentraciones de Cd en el suelo.
- ✓ **Absorción no regulada:** La absorción de Cd no está regulada por límites fisiológicos (demanda de la planta) y no incrementa con el aumento de concentraciones de Cd en el suelo. Estudios experimentales mostraron que el Cd es administrado como sales de  $\text{Cd}^{+2}$  y mostraron que la absorción incrementó linealmente con el Cd en el suelo, mientras que las otras propiedades del suelo permanecen constantes (61).
- ✓ La biodisponibilidad de Cd varía bastante y las concentraciones de Cd total en el suelo predicen pobremente su absorción de Cd. En condiciones de cantidades similares de Cd total en el suelo, el Cd en el cultivo varía en más de 10 veces. El Cd total en el suelo explica menos del 50% de la varianza de las concentraciones de Cd en el cultivo (62). Esto significa que las concentraciones totales de Cd en el suelo son pobres predictores del riesgo de Cd.

### **2.2.5 Relaciones suelo - planta del Pb**

La mayor parte del plomo en los suelos parece estar generalmente no disponible para la parte aérea de la planta. El  $Pb^{+2}$  absorbido por la planta se concentra en las raíces y pocas veces es transportado hacia los ápices conforme la planta está creciendo (63). De la revisión a la absorción y transporte en las plantas, se concluyó que el transporte es dependiente del estado fisiológico. Bajo condiciones de óptimo crecimiento, el Pb se precipita en las paredes celulares de las raíces en forma amorfa e insoluble siendo identificado en el maíz como fosfatos de plomo (64).

En términos generales, se estima que existe una relación positiva entre la concentración de Pb en el suelo y en la planta (65). Otros trabajos realizados indican que la fitodisponibilidad de elementos traza, puede estar correlacionada con la actividad iónica del metal libre en la solución suelo que el contenido total del metal en el suelo, sin embargo, se encontró que, ni el Pb total, Pb total disuelto o Pb libre en solución fueron satisfactorios predictores de la absorción de la planta (66, 67).

Un gran número de estudios se han llevado a cabo para encontrar extractantes químicos (soluciones salinas, ácidos diluidos, agentes complejantes, entre otros) que separen la fracción de metales pesados disponibles para la planta de las muestras de suelo. Se ha revisado críticamente la literatura disponible sobre extractantes para Cd, Zn, Ni, Cu, y Pb y concluyeron que, generalmente no hay correlación entre el contenido total de metales y la fracción fitodisponible (68). De manera similar, las concentraciones de metales traza determinadas por extracción usando agentes complejantes o ácidos diluidos fue pobremente correlacionada con la absorción de la planta y en general los extractantes de sales neutras proporcionan la indicación más útil de la fitodisponibilidad de metales. Sin embargo, en el caso del plomo se ha estudiado las correlaciones entre Pb extractable en el suelo y las concentraciones en alfalfa y trigo de primavera, encontrando la más alta correlación con Pb extractado con DTPA (69).

### **2.2.5 Indicadores de concentración de plomo y cadmio.**

La acumulación de metales pesados en los cultivos y su subsecuente transferencia a los canales alimenticios es un problema ambiental de todo el



mundo. La absorción no solo depende de los factores del suelo, tales como la temperatura, humedad, materia orgánica, pH y disponibilidad de nutrientes, sino también de las especies de plantas. La eficiencia de la habilidad absorbente de las plantas para metales pesados es determinado por índices, tales como absorción por la planta o factores de transferencia de los metales (70).

Los límites máximos permisibles de concentración de Cd y Pb en las raíces y tubérculos son de 0.1 mg/kg para ambos metales pesados (71). Una de las formas responsables de la incorporación de metales pesados en alimentos es a través de los sistemas hídricos, sea por el uso de aguas contaminadas para riego de cultivos o por los procesos que tienen lugar en la cadena alimenticia en aguas contaminadas (72).

El factor de translocación (FT) evalúa el potencial de fitoextracción de un cultivo. La relación, es una muestra de la habilidad de la planta para translocar metales de las raíces a las partes aéreas de la planta (73) y está representado por la relación: concentración de metal en la parte aérea /concentración de metal en la raíz.

Cuando los metales son absorbidos por las plantas y almacenados en la raíz, el factor de translocación es  $< 1$ ; los valores mayores indican translocación a la parte aérea (74).

El factor de bioconcentración (FBC) es usado para determinar la cantidad de metales pesados absorbidos por las plantas desde el suelo. Este es el índice de la habilidad que tiene la planta para acumular un metal particular en relación a su concentración en el suelo y es calculada usando la siguiente fórmula: concentración del metal en toda la planta/concentración del metal en el suelo (75). Los valores altos del FBC indican plantas fitoextractoras (76).  $FBC > 2$  son considerados altos (74).

### **2.2.6 El cadmio en el cultivo de papa**

La papa (*Solanum tuberosum* L.), uno de los más importantes cultivos en el mundo, ha sido reportado como un cultivo moderadamente acumulador de metales pesados (70). En una región eslovaca, se realizó un estudio del consumo de la papa contaminada por metales pesados debido a la actividad minera, encontrando que el contenido de metales pesados tóxicos en las papas cultivadas fueron inferiores

a lo permitido en las normas locales (77), pero reportaron datos de bioacumulación de zinc, níquel, plomo y cadmio sobre los límites regulatorios en los tubérculos de papa cosechados de parcelas cercanas a carreteras principales (78).

La movilidad del cadmio en plantas de papa (*Solanum tuberosum*) fue examinada usando marcaje isotópico con  $^{109}\text{Cd}$  a corto plazo y experimentos de crecimiento a largo plazo en suelos con Cd, con énfasis en las vías a través de los cuales el Cd es absorbido por los tubérculos. Los resultados mostraron que los tubérculos y sus estolones contribuyen poco a la absorción de Cd por la planta. La mayor parte del Cd fue absorbida por las raíces basales. El  $^{109}\text{Cd}$  absorbido del suelo fue rápidamente exportado a otras partes de la planta, especialmente a los tallos. La aplicación de  $^{109}\text{Cd}$  a las hojas mostró que el Cd puede ser rápidamente distribuido vía el floema a todos los tejidos. Los resultados sugirieron que el Cd tiene una alta movilidad en la planta en el xilema y floema y que los tallos tienen un rol importante en la transferencia entre estas dos vías (79).

El Cd, Hg y el metaloide As no tienen ninguna función biológica en la planta, pero junto a elementos esenciales como: el Fe, Zn, Cu y Mn, son extremadamente reactivos y tóxicos. Las plantas tienen mecanismos especializados para detectar, transportar y mantener los elementos esenciales dentro de concentraciones fisiológicas y para detoxificar metales y metaloides no esenciales. Se han identificado transportadores que secuestran cadmio y arsénico en las vacuolas y los mecanismos por el cual se fraccionan estos elementos entre las raíces y los tallos (80).

Se ha reportado la respuesta de las raíces de las plantas a elevadas concentraciones de Cd en la rizósfera (suelo adyacente a las raíces de la planta). El Cd ingresa a la planta desde la solución suelo, atraviesa la raíz a través de las vías simplástica o apoplástica antes de entrar a la xilema y ser translocado al tallo. Las concentraciones de Cd en las hojas son superiores a 5 – 10  $\mu\text{g/g}$  de materia seca y son tóxicos para la mayoría de las plantas, pero estas han evolucionado mecanismos para limitar la translocación al tallo. El movimiento del Cd a través del simplasto de la raíz está restringido por la producción de fitoquelatinas y la secuestación de quelatos de Cd en las vacuolas. El movimiento apoplástico de Cd a la xilema puede ser restringido por el desarrollo de barreras extracelulares en la exodermis y endodermis. Al incrementarse la concentración de Cd en la rizósfera

se incrementa su concentración, especialmente en la raíz. La presencia de Cd en la rizósfera inhibe la elongación de la raíz e influye en su anatomía. La concentración de Cd es mayor en el apoplasto de la raíz que en el simplasto y la concentración en los tejidos disminuye desde la periferia a la parte interna de los tejidos de la raíz (81).

### 2.3 Definición de términos básicos

**Bioacumulación:** concentración resultante acumulada en el ambiente o en los tejidos orgánicos a partir de la incorporación, distribución y eliminación de contaminantes obtenidos a través de diversas rutas de exposición, por ejemplo: aire, agua, suelo, sedimento y alimento (82).

**Biodisponibilidad:** característica de las sustancias tóxicas que indica la facilidad de incorporarse a los seres vivos mediante procesos o mecanismos: inhalación, ingesta o absorción y que están influenciados por diferentes parámetros como las rutas de exposición, características fisiológicas del receptor y las características químicas del xenobiótico (82).

**Contaminación:** distribución de una sustancia química o una mezcla de sustancias en un lugar no deseable (aire, agua, suelo) donde puede ocasionar efectos adversos al ambiente o en la salud (82).

**Contaminante:** cualquier sustancia química que no pertenece a la naturaleza del suelo o cuya concentración excede el nivel de fondo susceptible de causar efectos nocivos para la salud de las personas o medio ambiente (82).

**Estándar de Calidad Ambiental (ECA):** es la medida que establece el nivel de concentración del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos (82).

**Muestra compuesta:** es aquella que está constituida por un conjunto de muestras simples (sub muestras), convenientemente mezcladas y llevadas al laboratorio para su análisis correspondiente, siendo el resultado un valor analítico medio de la propiedad o compuesto analizado. El número de sub muestras dependerá de la variabilidad de la sustancia o propiedad a analizar en el área de estudio y tiene la ventaja de permitir un muestreo mayor sin aumentar el número de muestras a analizar (82).

**Suelo:** material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos. Comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta los diferentes niveles de profundidad (82).

**Suelo contaminado:** es aquel suelo cuyas características químicas han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias contaminantes depositadas por la actividad humana, según lo establecido en el D.S. N° 011-2017-MINAM (82).

**Suelo agrícola:** es el suelo dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados. Es también aquel suelo apto para el crecimiento de cultivos y el desarrollo de la ganadería. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de flora y fauna nativa, como es el caso de las áreas naturales protegidas (82).

**Cadmio:** metal pesado muy tóxico y se encuentra naturalmente en la corteza terrestre. Su movilidad en el suelo es afectada por el pH, materia orgánica, potencial redox y la cantidad de arcillas. Se encuentra en el ambiente como resultado de la actividad antropogénica. Su presencia en los seres humanos causa daños al riñón y sistema óseo, generando problemas oncológicos (83).

**Plomo:** se ubica en el grupo IVA (metales) en la tabla periódica. Es un metal gris azulino que se presenta en forma natural en pequeñas concentraciones (0.002%) en la corteza terrestre. Es obtenido de la galena (PbS), la anglesita (PbSO<sub>4</sub>) y la curositita (PbCO<sub>3</sub>) (84).

**Fitoextracción:** es la habilidad de algunas especies vegetales para absorber metales pesados del suelo, acumulándolos generalmente en la parte aérea (85).

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 Método y alcance de la investigación**

##### **3.1.1 Método**

###### **3.1.1.1 Método general**

El método de investigación fue hipotético - deductivo, donde la hipótesis formulada es la concentración de cadmio y plomo en el tubérculo, tallo, raíz y hoja de la papa (*solanum tuberosum* L.) tiene relación directa con la concentración en los suelos del Valle del Mantaro, bajo condiciones controladas o falsear la hipótesis de acuerdo a los resultados obtenidos.

###### **3.1.1.2 Método específico**

Se aplica el método de análisis: primero, se toma muestras del suelo para determinar la presencia del cadmio y plomo; luego, se siembra el tubérculo - semilla de papa y, por último, se analiza el contenido de cadmio en los tubérculos, tallo, hojas y suelo.

#### **3.1.2 Alcance de la investigación**

##### **3.1.2.1 Tipo de investigación**

El tipo de investigación fue aplicada, ya que el presente estudio tiene naturaleza práctica para determinar la concentración de cadmio y plomo en el fruto, tallo, raíz y hoja en relación a la concentración en el suelo, bajo condiciones controladas. No se realizó análisis de Cd y Pb en los tubérculos semilla de papa.

La investigación aplicada, consiste en realizar trabajos aplicados con la finalidad de adquirir nuevos conocimientos, sin embargo, está dirigido fundamentalmente a un objetivo práctico específico. Este tipo de investigación implica la consideración de todos los conocimientos existentes y su profundización en un intento de solucionar problemas específicos. Los resultados de la investigación aplicada se refieren, en primer lugar, a un único

producto o a un número limitado de productos, operaciones, métodos o sistemas (89).

### 3.1.2.2 Nivel de investigación

Es explicativo, porque el interés está en explicar de qué manera la variable independiente (los tipos de suelo del Valle del Mantaro) influye en la variable dependiente (contenido de Pb y Cd en tallos, hojas y tubérculos).

## 3.2 Diseño de la investigación

### 3.2.1 Diseño experimental

El diseño experimental empleado fue Completamente al Azar (DCA), con cuatro tratamientos y tres repeticiones por tratamiento, haciendo un total de 12 unidades experimentales.

El modelo aditivo lineal del diseño experimental es el siguiente (88):

$$\gamma_{ik} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ijo}$$

$\gamma_{ik}$  = Cualquier observación del experimento

$\mu$  = Media poblacional

$\tau_i$  = Efecto del i-ésimo tratamiento

$\varepsilon_{ijo}$  = Error experimental

**Tabla 2. Tratamientos en estudio.**

Número	Tratamiento (Localidad del suelo)	Clave
1	El Mantaro	T1 = EM
2	Sincos	T2 = SI
3	Huancaní	T3 = HU
4	Mito	T4 = MI

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2.2 Procedimiento experimental

Para lograr el objetivo general: se evaluó la concentración de cadmio y plomo en la planta de papa (*Solanum tuberosum* L.) cultivada en los suelos contaminados de El Mantaro, Sincos, Huancaní, Mito 2020, como también se cumplió los objetivos específicos que están enmarcados dentro de este procedimiento que más adelante se detallan y luego se realizaron los procedimientos que a continuación se detalla:

Para la toma de muestras de suelos, se partió de la revisión bibliográfica de diferentes estudios de suelos realizados en la zona de evaluación y posteriormente se aplicó el criterio de juicio de expertos, llegando a localizar zonas de muestreos para su posterior evaluación. En la figura 3, se muestra la ubicación de los puntos de muestreo de suelos.

**Tabla 3. Georreferenciación de los puntos de muestreo.**

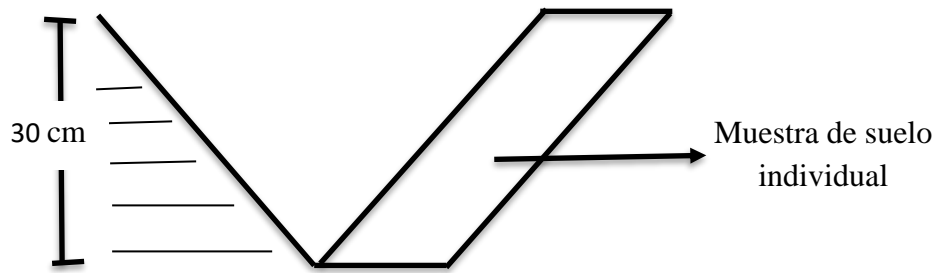
Localidad	Coordenadas UTM		Altitud (msnm)
	Este	Sur	
El Mantaro	457849	8691997	3334
Sincos	457456	8686272	3301
Huancaní	455123	8689430	3320
Mito	463971	8680913	3276

**Fuente:** Elaboración propia

Las coordenadas corresponden al centro de la parcela. El tipo de muestreo se basó en la Guía de Muestreo de Suelos del Ministerio del Ambiente (90). Para este trabajo de investigación se utilizó el muestreo de identificación. El patrón de muestreo fue sistemático. De cada parcela y de cada distrito, se tomó un promedio de 23 muestras simples a la profundidad promedio de 0 - 30cm, para después mezclarlas uniformemente, obteniendo 15 kilos en promedio para la ejecución del experimento.



**Figura 1. Obtención de una muestra individual (92)**



Después del recojo de la muestra se separó una sub muestra de 1 kg aproximadamente para enviar al laboratorio para el análisis del suelo: caracterización, Pb y Cd.

Figura 2. Mapa de ubicación de puntos de muestreo.



**Figura 3. Muestreo de suelo, realizado en cada localidad**



**Figura 4. Después de homogenizado y la sub muestra para el análisis de suelo antes de la siembra.**





**Figura 5. Secado de la muestra**



Las muestras de suelo de cada localidad fueron secadas al aire libre para poder ser tamizadas con el tamiz N° 10, de 2 mm de malla.

**Figura 6. Pesado de las muestras en cada maceta**



Posteriormente se saturó con agua, las muestras de cada maceta y se dejó reposar por 48 horas.



**Figura 7. Saturación con agua, de las muestras antes de la instalación**



Cuando el suelo estaba a capacidad de campo (CC) se procedió a sembrar los tubérculos - semilla, colocando tres tubérculos por maceta y se identificó cada unidad experimental. La capacidad de campo (CC) del suelo se midió en laboratorio con el método de la probeta, obteniéndose un valor promedio de 28%. Para lograr ese nivel de humedad del suelo, se agregó 2800 mL de agua potable a cada maceta y mediante el método gravimétrico cada semana se mantuvo el mismo nivel de humedad. Desde ese momento se dio inicio al experimento.

**Figura 8. Siembra e identificación de unidades experimentales**





**Figura 9. Después del primer aporque**



Cuando las plantas tenían una altura de 20 a 30 cm se realizó el primer aporque, manteniendo siempre la rotación de la posición de cada maceta.

**Figura 10. Después del segundo aporque**



Durante el desarrollo de la planta de papa, se mantuvo la humedad a capacidad de campo y no se observó presencia de insectos o de enfermedades.

A los 80 días se realizó el segundo aporque, eliminando manualmente las malezas.

A los 95 días, cuando se observó que la planta había cumplido su ciclo de crecimiento y se procedió a la cosecha del experimento, separando de cada unidad experimental.

Para lograr el primer objetivo específico que fue determinar la concentración de cadmio y plomo en raíces, tallos, hojas y tubérculos de la planta de papa (*Solanum tuberosum* L.), se colocaron en bolsas de papel kraft las partes de la planta a estudiar (tallos, hojas, raíces, tubérculos), para luego secarlos a la estufa y obtener el peso seco que se detalla en los ítems **3.4.1** y **3.4.2** del presente capítulo.

- Posteriormente, cada muestra seca de tubérculos, hojas, y tallos, fueron enviadas al laboratorio para el análisis de Cd y Pb.

Una vez obtenido los resultados del análisis del laboratorio (Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas, Plantas y Fertilizantes de la UNALM, Lima), se procede a desarrollar el segundo objetivo específico: calcular los factores de Bioconcentración, translocación de Cd, Pb y el contenido de materia seca aérea de la planta de papa, donde se utilizaron fórmulas que se detallan en el ítem **3.4.3** del presente capítulo.

- Para determinar la concentración final de Cd y Pb en los suelos de El Mantaro, Sincos, Huancaní y Mito, se realizó el procedimiento según detalla el ítem **3.4.3** del presente capítulo.

### **3.3 Población y muestra**

#### **3.3.1 Población**

Para esta investigación la población está conformada por las parcelas agrícolas de los suelos de El Mantaro, Sincos, Huancaní y Mito (una en cada localidad) del Valle del Mantaro, contaminados con plomo y cadmio.

#### **3.3.2 Muestra**

Para esta investigación la muestra estuvo compuesta por una porción del suelo de cada parcela agrícola de los distritos de El Mantaro, Sincos, Huancaní y Mito.

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.4.1 Materia seca de la planta**

Para la cosecha, se cortaron las plantas de cada unidad experimental al ras del suelo y se colocaron en bolsas de papel, debidamente identificadas, las raíces,

hojas y tallos, para luego llevarlas a una estufa y realizar el secado a una temperatura promedio de 60°C por un periodo de 48 horas, posteriormente se pesó cada tratamiento y se registró esta variable.

### **3.4.2 Análisis de plomo y cadmio en la planta**

Las muestras secas de raíces, hojas y tallos de cada unidad experimental, fueron debidamente identificadas y enviadas al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Agraria La Molina para el análisis de plomo y cadmio total.

### **3.4.3 Análisis de plomo y cadmio en el suelo después del experimento**

El suelo de cada unidad experimental fue homogenizado y se extrajo una muestra de aproximadamente un kilogramo, se etiquetó según el tratamiento y repetición y se envió al laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Agraria La Molina para el análisis de plomo y cadmio total.

#### **3.4.3.1 Cálculo del factor de bioacumulación (FBC)**

Para hallar el FBC de plomo y cadmio, se calculó en cada parte de la planta: raíces, tallos, hojas y total, utilizando la siguiente expresión:

$$FBC_{Cd,Pb} = \frac{\text{Concentración Cd, Pb en hojas + tallos + raíces + tubérculos}}{\text{Concentración de Cd, Pb en el suelo}}$$

#### **3.4.3.2 Cálculo del factor de translocación (FT)**

Para hallar el FT de plomo y cadmio, se relacionó el contenido de este metal pesado en la parte aérea y raíz, utilizando la siguiente expresión:

$$FT_{Cd,Pb} \text{ total} = \frac{\text{Concentración Pb en hojas + tallos + tubérculos}}{\text{Concentración de Pb en la raíz}}$$

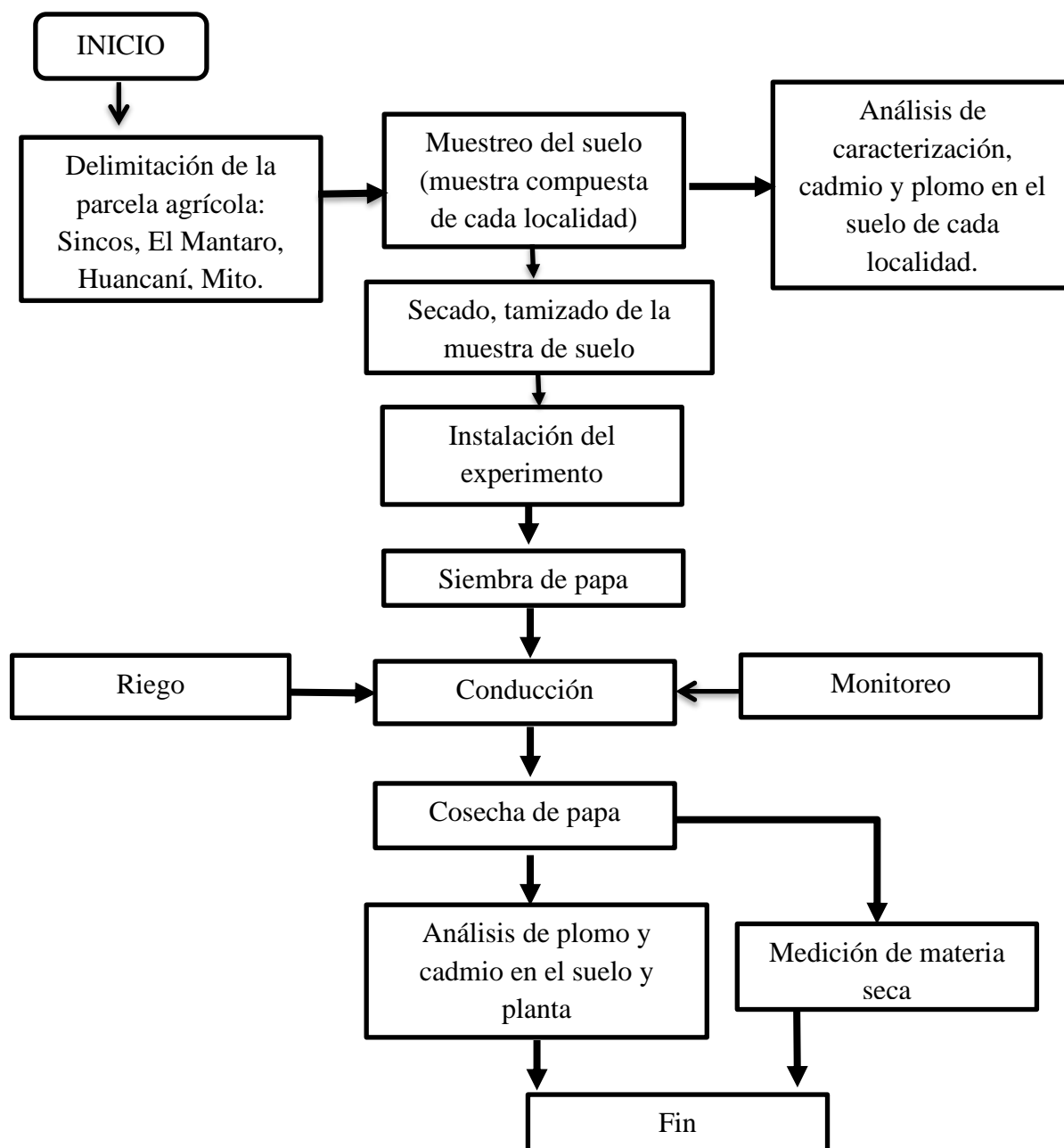
### **3.4.4 Procesamiento de los datos**

Al finalizar la obtención de datos, estos fueron sistematizados y se verificó la distribución normal de cada variable utilizando la prueba de Shapiro – Wilks; si la variable evaluada tenía distribución normal se realizó el análisis de variancia y la prueba de significación de Duncan; si la variable evaluada no tenía distribución



normal se realizó la prueba de no paramétrica de Kruskal – Wallis. Se utilizó el software INFOSTAT (91).

**Figura 11. Diagrama metodológico del proceso experimental**



**CAPITULO IV**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**Tabla 4. Resultados del análisis de Pb y Cd en el suelo.**

Parámetro	El Mantaro	Sincos	Huancaní	Mito
Pb (mg/kg)	45.88	1075.71	1738.10	85.80
Cd (mg/kg)	2.32	9.02	11.52	2.34
Factor de contaminación Pb (Pb Suelo/Pb ECA)	0.66	15.37	24.83	1.22
Factor de contaminación Cd (Cd Suelo/Cd ECA)	1.66	10.98	17.74	1.67
Calificación	Contaminado Cd	Contaminado Pb, Cd	Contaminado Pb, Cd	Contaminado Pb

ECA para suelos agrícolas: Cd = 1.4 mg/kg. Pb = 70 mg/kg

**Fuente:** Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas, Plantas y Fertilizantes de la UNALM, Lima.

De todos los suelos muestreados, la mayoría estuvieron contaminados con Cd y Pb, excepto el suelo de El Mantaro, que tuvo una concentración de Pb inferior al ECA de suelos, pero fue considerado por estar en una zona agrícola que tiene suelos regados con aguas contaminadas del río Mantaro. Los datos se presentan en la tabla 4.

## 4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información

### 4.1.1 Concentración de Pb y Cd en raíz

**Tabla 5. Resultados del contenido de Pb y Cd en raíces**

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
Plomo (mg/kg)				
T1: El Mantaro	43.35	15.69	25.83	28.29
T2: Sincos	825.00	571.25	564.50	653.58
T3: Huancaní	830.00	785.00	900.00	838.33
T4: Mito	36.88	46.75	38.95	40.86
Cadmio (mg/kg)				
T1: El Mantaro	2.17	1.17	1.44	1.59
T2: Sincos	6.84	6.13	6.07	6.35
T3: Huancaní	7.22	7.48	7.94	7.55
T4: Mito	1.70	1.40	1.20	1.43

**Fuente:** Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas, Plantas y Fertilizantes, UNALM, Lima.

El contenido de Pb y Cd en las raíces de la planta de papa, fue mayor en los suelos de Sincos y Huancaní; los valores más bajos de Pb y Cd en hojas fue en El Mantaro y Mito. La concentración de Pb es mayor que Cd en las raíces de la planta de papa. Los datos se presentan en la tabla 5.

#### 4.1.2 Concentración de Pb y Cd en tallos

**Tabla 6. Resultados del contenido de Pb y Cd en tallos**

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
Plomo (mg/kg)				
T1: El Mantaro	7.79	7.10	5-7	6.65
T2: Sincos	135.93	18.61	55.18	69.91
T3: Huancaní	37.28	101.25	43.43	60.65
T4: Mito	6.62	11.69	25.85	14.72
Cadmio (mg/kg)				
T1: El Mantaro	0.60	0.48	0.67	0.58
T2: Sincos	1.29	0.76	0.96	1.00
T3: Huancaní	1.31	1.25	0.97	1.18
T4: Mito	0.74	0.87	1.08	0.90

**Fuente:** Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas, Plantas y Fertilizantes, UNALM, Lima.

El contenido promedio de Pb y Cd en los tallos de la planta de papa, fue mayor en los suelos de Sincos y Huancaní; los valores promedio más bajos de Pb y Cd en hojas fue en El Mantaro y Mito; la cantidad de Pb en tallos es mayor para Pb que para Cd. Los datos se presentan en la tabla 6.

### 4.1.3 Concentración de Cd y Pb en hojas

**Tabla 7. Resultados del contenido de Pb y Cd en hojas**

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
Plomo (mg/kg)				
T1: El Mantaro	7.84	4.48	15.36	9.23
T2: Sincos	31.1	22.64	46.23	33.32
T3: Huancaní	16.39	17.89	19.32	17.87
T4: Mito	5.04	8.68	8.77	7.50
Cadmio (mg/kg)				
T1: El Mantaro	0.47	0.36	0.58	0.47
T2: Sincos	0.83	0.76	0.73	0.77
T3: Huancaní	0.59	0.76	0.50	0.62
T4: Mito	0.29	0.38	0.41	0.36

**Fuente:** Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas, Plantas y Fertilizantes, UNALM, Lima.

El contenido de Pb y Cd en las hojas de la planta de papa, fue mayor en los suelos de Sincos y Huancaní; los valores más bajos de Pb y Cd en hojas fue en El Mantaro y Mito. El orden fue el siguiente: Sincos > Huancaní > El Mantaro > Mito, estos datos también mostraron una mayor concentración de Pb que de Cd en las hojas de la planta de papa. Los datos se presentan en la tabla 7.

#### 4.1.4 Concentración de Pb y Cd en tubérculo

**Tabla 8. Resultados de la concentración de Pb y Cd en tubérculos**

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
Plomo (mg/kg)				
T1: El Mantaro	33.45	4.69	1.21	13.12
T2: Sincos	2.45	7.42	6.37	5.41
T3: Huancaní	9.76	5.98	11.27	9.00
T4: Mito	5.58	1.34	3.59	3.50
Cadmio (mg/kg)				
T1: El Mantaro	0.33	0.50	0.11	0.31
T2: Sincos	0.34	0.18	0.24	0.25
T3: Huancaní	0.41	0.35	0.30	0.35
T4: Mito	0.24	0.36	0.40	0.33

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas, Plantas y Fertilizantes, UNALM, Lima.

El contenido de Pb fue mayor en los suelos de El Mantaro y Huancaní. El contenido de Cd en los tubérculos fue mayor en Huancaní y Mito. La cantidad de Pb es mayor que la Cd en los tubérculos de papa. Los datos se presentan en la tabla 8.

#### 4.1.5 Factor de bioconcentración (FBC) en la planta de papa

**Tabla 9. Resultados del FBC de Pb y Cd**

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
Plomo				
T1: El Mantaro	2.015	0.696	1.034	1.248
T2: Sincos	0.924	0.576	0.625	0.708
T3: Huancaní	0.514	0.524	0.560	0.533
T4: Mito	0.631	0.798	0.899	0.776
Cadmio				
T1: El Mantaro	1.537	1.085	1.203	1.275
T2: Sincos	1.031	0.867	0.886	0.928
T3: Huancaní	0.827	0.854	0.843	0.841
T4: Mito	1.267	1.284	1.317	1.289

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas, Plantas y Fertilizantes, UNALM, Lima.

El FBC fue mayor que 1 para Pb y Cd en el Mantaro, así como en Mito para Cd, demostrando que el cultivo de papa en estos suelos tiende a acumular dichos metales en la planta de papa. Los datos se presentan en la tabla 9.

#### 4.1.6 Factor de translocación (FT) en la planta de papa

**Tabla 10. Resultados del FT de Pb y Cd**

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
Plomo				
T1: El Mantaro	1.132	1.036	0.837	1.002
T2: Sincos	0.205	0.085	0.191	0.160
T3: Huancaní	0.076	0.159	0.082	0.106
T4: Mito	0.467	0.464	0.981	0.637
Cadmio				
T1: El Mantaro	0.645	1.147	0.941	0.911
T2: Sincos	0.359	0.275	0.317	0.317
T3: Huancaní	0.319	0.316	0.223	0.286
T4: Mito	0.749	1.150	1.569	1.156

**Fuente:** Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas, Plantas y Fertilizantes, UNALM, Lima.

El FT fue mayor que 1 para Pb en El Mantaro y en Mito para Cd, indicando que estos suelos contaminados y los metales pesados son translocados a la parte aérea. Los datos se presentan en la tabla 10.



#### 4.1.7 Contenido de materia seca aérea

**Tabla 11. Resultados del contenido de materia seca aérea (g)**

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
T1: El Mantaro	45.55	63.64	46.60	51.93
T2: Sincos	42.75	44.65	39.76	42.39
T3: Huancaní	73.90	78.39	66.10	72.80
T4: Mito	48.28	61.28	59.78	56.45

**Fuente:** Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas, Plantas y Fertilizantes, UNALM, Lima.

La formación de materia seca fue mayor en Huancaní y menor en El Mantaro, los valores intermedios corresponden a Mito y Sincos con referencia a Huancaní y El Mantaro. Los datos se presentan en la tabla 11.

#### 4.1.8 Concentración de Pb y Cd final en el suelo

**Tabla 12. Resultados de la concentración de Pb y Cd en el suelo.**

Tratamiento	Repeticiones			Promedio
	I	II	III	
Plomo				
T1: El Mantaro	51.96	49.64	49.08	50.23
T2: Sincos	731.74	689.05	880.28	767.02
T3: Huancaní	1147.91	1266.50	1096.58	1170.33
T4: Mito	54.28	54.22	54.34	54.28
Cadmio				

T1: El Mantaro	2.05	1.93	2.14	2.04
T2: Sincos	7.35	7.41	7.32	7.36
T3: Huancaní	8.22	8.08	7.17	7.82
T4: Mito	1.04	1.00	1.10	1.05

**Fuente:** Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas, Plantas y Fertilizantes, UNALM, Lima.

La concentración final de Pb en los suelos de El Mantaro y Mito fue menor al ECA (70 mg/kg), mostrando suelos sin exceso de Pb, en los demás, el promedio fue superior. El promedio final de Cd en el suelo de Mito fue menor al ECA (1.4 mg/kg) y en los demás suelos el promedio fue superior al ECA.

## 4.2 Prueba de hipótesis

### 4.2.1 Hipótesis específica 1:

“La concentración de cadmio y plomo en raíces, tallos, hojas y tubérculos de la planta de papa (*Solanum tuberosum* L.), que se cultiva en los suelos de El Mantaro, Sincos, Huancaní y Mito, supera los valores límite permisibles para cultivos alimenticios”.

#### 4.2.1.3 Concentración de Pb en raíces

Para comprobar la hipótesis planteada, primero se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilks.

Para la prueba de normalidad se planteó las siguientes hipótesis:

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

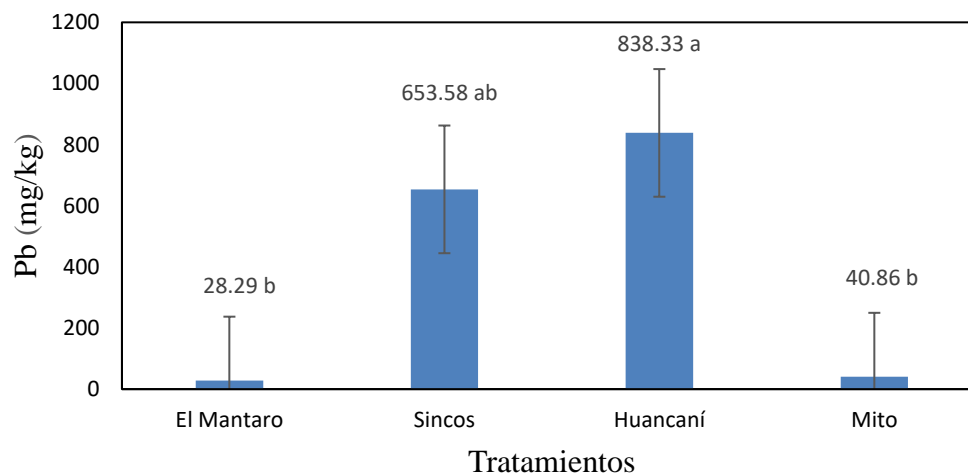
**Tabla 13. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para la concentración de Pb en raíces.**

Tratamiento	Media	W	p-valor
1: El Mantaro	28.29	0.98	0.7052
2: Sincos	653.58	0.77	0.0433
3: Huancaní	838.33	0.98	0.7591
4: Mito	40.86	0.90	0.3794

**Fuente:** elaboración propia

Como el *p-valor*, en todos los tratamientos es mayor que 0.05, excepto en el tratamiento de Sincos, se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_a$ ; la población, no está distribuida normalmente. Los datos se presentan en la tabla 16. Se desarrolló la prueba de Kruskal Wallis.

**Figura 12. Prueba de Kruskal Wallis para el contenido de Pb en raíces.**



Se observa de la prueba de Kruskal Wallis que, todos los tratamientos superan el valor Límite permisible de Pb, que es 0.1 mg/kg, siendo Huancaní el suelo que mostró mayor absorción significativa de Pb en las raíces de papa respecto a los demás tratamientos. Se debe enfatizar que los valores encontrados en la raíz, son mayores respecto a los demás órganos de la planta de papa. Esto valida la hipótesis planteada. Los datos se presentan en la figura 12.

#### 4.2.1.2 Concentración de Pb en tallos

Para comprobar la hipótesis planteada, primero se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilks.

Para la prueba de normalidad se planteó las siguientes hipótesis:

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

**Tabla 14. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para la concentración de Pb en tallos.**

Tratamiento	Media	W	p-valor
1: El Mantaro	6.65	0.93	0.4700
2: Sincos	69.91	0.95	0.5895
3: Huancaní	60.65	0.82	0.1678
4: Mito	14.72	0.93	0.4908

**Fuente:** elaboración propia

Como el p-valor, en todos los tratamientos es mayor que 0.05, se acepta Ho y se rechaza Ha; la población está distribuida normalmente. Se procedió a realizar el análisis de variancia. Los datos se presentan en la tabla 15.

**Tabla 15. Análisis de variancia del contenido de Pb en tallos.**

F. de V.	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	9167.339	3	3055.780	2.469	0.1364
Error	9901.015	8	1237.627		
Total	19068.354	11			

S = 35,18

$\bar{x} = 37.982$

CV = 92.62 %

Del análisis de variancia, se observa que el p-valor en la fuente de variación (F. de V.) - Tratamientos, es mayor que 0.05, indicando que, los tratamientos son iguales estadísticamente y el promedio es superior al límite permisible ( $> 0.1$  mg/kg), lo cual valida la hipótesis planteada.

#### 4.2.1.1 Concentración de Pb en hojas

Para comprobar la hipótesis planteada, primero se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilks.

Para la prueba de normalidad se planteó las siguientes hipótesis:

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

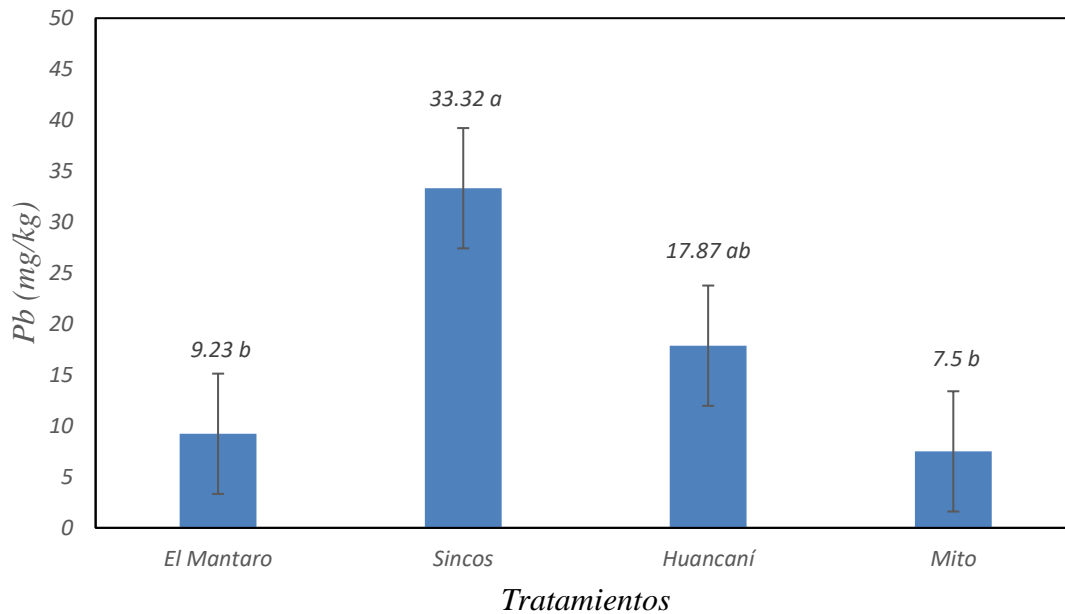
**Tabla 16. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para la concentración de Pb en hojas.**

Tratamiento	Media	W	p-valor
1: El Mantaro	9.23	0.95	0.583
2: Sincos	33.32	0.97	0.688
3: Huancaní	17.87	1.00	0.973
4: Mito	7.50	0.77	0.041

**Fuente:** elaboración propia

Como el p-valor, en al menos uno de los tratamientos es menor que 0.05 (T4: Mito = 0.041), se rechaza Ho y se acepta Ha, por lo tanto, la población no está distribuida normalmente. Se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

**Figura 13.** Prueba de Kruskal Wallis para el contenido de Pb en Hojas



La prueba de Kruskal Wallis, muestra que en el suelo de Sincos, la planta de papa tuvo el más alto valor de Pb en las hojas, superando el límite permisible para especies vegetales de raíces y tubérculos es 0.1 mg/kg (73), lo cual valida la hipótesis planteada: la concentración de Pb en hoja supera los valores límite permisibles para cultivos alimenticios.

#### 4.2.1.4 Concentración de Pb en tubérculos

Para comprobar la hipótesis planteada, primero se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilks.

Para la prueba de normalidad se planteó las siguientes hipótesis:

H<sub>0</sub>: La población está distribuida normalmente.

H<sub>a</sub>: La población no está distribuida normalmente.

Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

**Tabla 17. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para la concentración de Pb en tubérculos.**

Tratamiento	Media	W	p-valor
1: El Mantaro	13.12	0.83	0.1889
2: Sincos	5.41	0.90	0.3831
3: Huancaní	9.00	0.94	0.5347
4: Mito	3,50	1.00	0.9313

**Fuente:** elaboración propia

Como el p-valor, en todos los tratamientos es mayor que 0.05, se acepta  $H_0$  y se rechaza  $H_a$ ; la población está distribuida normalmente. Se procedió a realizar el análisis de variancia. Los datos se presentan en la tabla 17.

**Tabla 18. Análisis de variancia de concentración de Pb en tubérculos.**

F. de V.	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	161,597	3	53.866	0.649	0.6053
Error	663.796	8	82.975		
Total	825.393	11			

S = 9.109

$\bar{x} = 7.759$

CV = 117,397 %

Del análisis de variancia, se observa que el p-valor en la fuente de variación (F. de V.) - tratamientos, es mayor que 0.05, indicando que los tratamientos son iguales estadísticamente y el promedio de Pb en los tubérculos es superior al límite permisible ( $> 0.1$  mg/kg), lo cual valida la hipótesis planteada. Los datos se presentan en la tabla 18.

#### 4.2.1.5 Concentración de Cd en hojas

Para comprobar la hipótesis planteada, primero se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilks.

Para la prueba de normalidad se planteó las siguientes hipótesis:

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

**Tabla 19. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para la concentración de Pb en hojas.**

Tratamiento	Media	W	p-valor
1: El Mantaro	0.47	1.00	>0.9999
2: Sincos	0.77	0.95	0.5661
3: Huancaní	0.62	0.97	0.6612
4: Mito	0.36	0.92	0.4628

**Fuente:** elaboración propia

Como el p-valor, es mayor que 0.05 en todos los tratamientos, se acepta Ho y se rechaza Ha; indicando que la población está distribuida normalmente. Los datos se presentan en la tabla 19. Se desarrolló el análisis de variancia.

**Tabla 20. Análisis de variancia de concentración de Cd en hojas.**

F. de V.	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	0.290	3	0.097	10.727	0.0035
Error	0.072	8	0.009		
Total	0.362	11			

S = 0.095

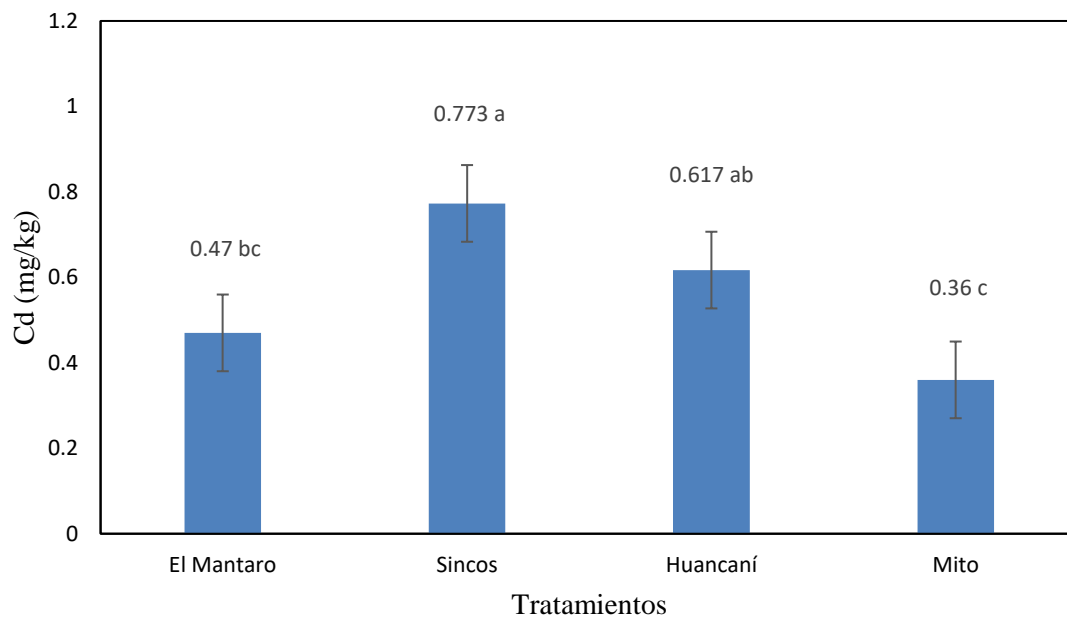
$\bar{x} = 0.555$

CV = 17.117 %



Del análisis de variancia, se observa que el p-valor en la fuente de variación (F. de V.) - tratamientos, es menor que 0.05, indicando que los tratamientos son diferentes estadísticamente. Los datos se presentan en la tabla 20. Para comparar la media de tratamientos se aplicó la prueba de Duncan.

**Figura 14. Prueba de Duncan para el contenido de Cd en hojas.**



La prueba de Duncan muestra que en el suelo de Sincos, la planta de papa tuvo el más alto valor de Cd en las hojas, superando significativamente a los demás tratamientos. Los datos se presentan en la figura 14.

En los cuatro suelos, el Cd superó el límite permisible para especies vegetales de raíces y tubérculos es 0.1 mg/kg (73), lo cual valida la hipótesis planteada.

#### 4.2.1.6 Concentración de Cd en tallos

Para comprobar la hipótesis planteada, primero se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilks.

Para la prueba de normalidad se planteó las siguientes hipótesis:

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

**Tabla 21. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para la concentración de Cd en tallos.**

Tratamiento	Media	W	p-valor
1: El Mantaro	0.58	0.98	0.7099
2: Sincos	1.00	0.98	0.7278
3: Huancaní	1.18	0.98	0.3151
4: Mito	0.90	0.98	0.7394

**Fuente:** elaboración propia

Como el p-valor, en todos los tratamientos es mayor que 0.05, se acepta Ho y se rechaza Ha; la población está distribuida normalmente. Los datos se presentan en la tabla 21. Se procedió a realizar el análisis de variancia.

**Tabla 22. Análisis de variancia de concentración de Cd en tallos.**

F. de V.	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	0.560	3	0.187	5.211	0.0276
Error	0.286	8	0.036		
Total	0.846	11			

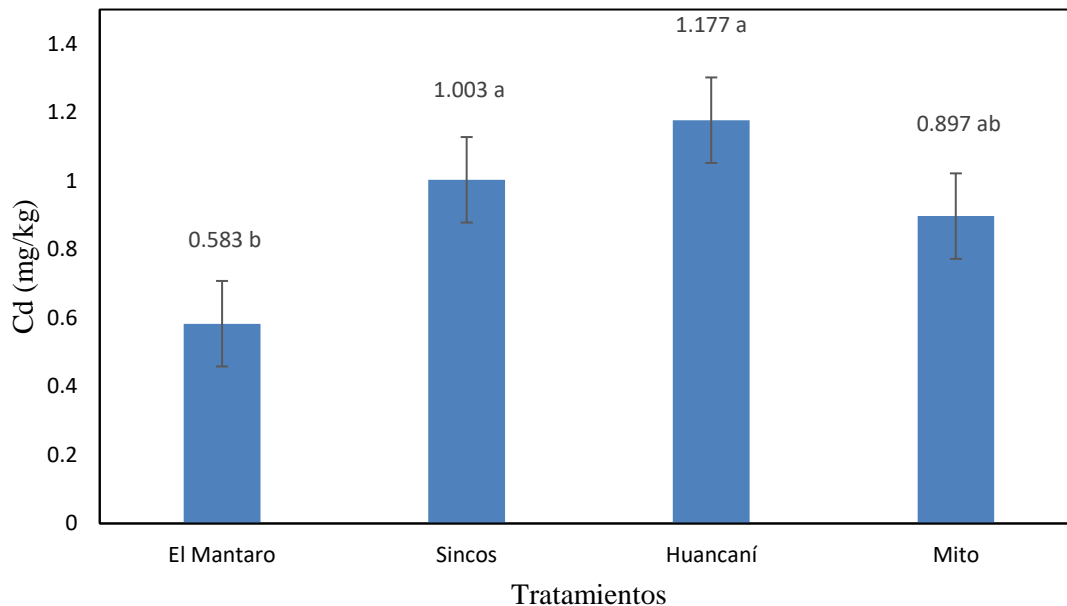
S = 0.190

$\bar{x} = 0.915$

CV = 20.765 %

En el análisis de variancia, se observa que el p-valor en la fuente de variación (F. de V.) - tratamientos, es menor que 0.05, indicando que los tratamientos son diferentes estadísticamente. Los datos se presentan en la tabla 22. Se procedió a comparar las medias aplicando la prueba de Duncan.

**Figura 15. Prueba de Duncan para el contenido de Cd en tallos**



La prueba de Duncan muestra que en los suelos de Sincos y Huancaní, la planta de papa tuvo el más alto valor de Cd en los tallos, superando significativamente a los demás tratamientos. Los datos se presentan en la figura 15. En los cuatro suelos, el Cd superó el límite permisible para las especies vegetales de raíces y tubérculos, que es de 0.1 mg/kg (73), lo cual valida la hipótesis planteada.

#### 4.2.1.7 Concentración de Cd en raíces

Para comprobar la hipótesis planteada, primero se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilks.

Para la prueba de normalidad se planteó las siguientes hipótesis:

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

**Tabla 23. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para la concentración de Cd en raíces.**

Tratamiento	Media	W	p-valor
1: El Mantaro	1.593	0.934	0.5058
2: Sincos	6.347	0.975	0.6941
3: Huancaní	7.547	0.987	0.7806
4: Mito	1.433	0.808	0.1343

**Fuente:** elaboración propia

Como el p-valor, en todos los tratamientos, es mayor que 0.05, se acepta  $H_0$  y se rechaza  $H_a$ ; esto indica que la población está distribuida normalmente. Los datos se presentan en la tabla 23. Se procedió a desarrollar el análisis de variancia.

**Tabla 24. Análisis de variancia de concentración de Cd en raíces.**

F. de V.	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	90.762	3	30.254	186.945	<0.0001
Error	1.295	8	0.162		
Total	92.056	11			

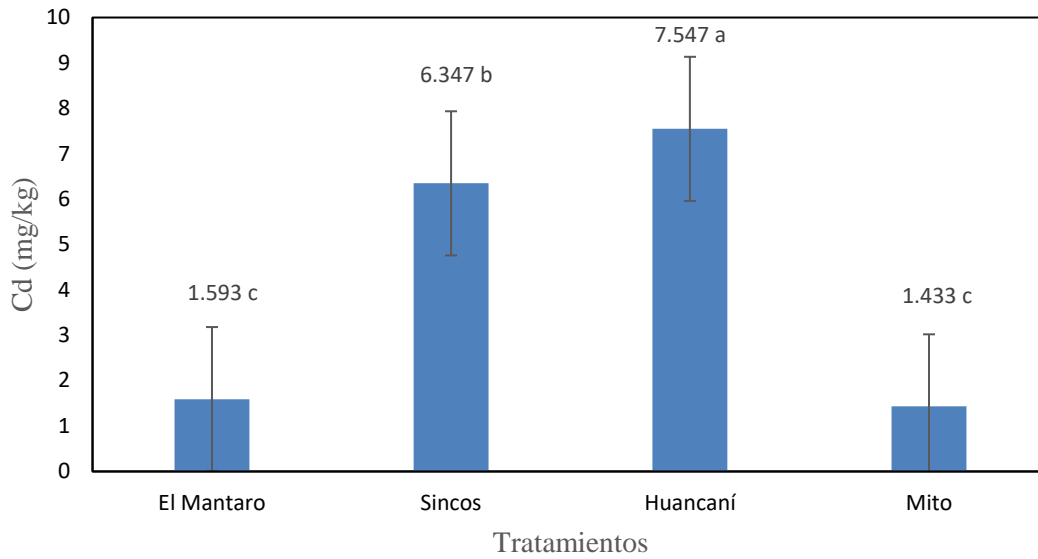
S = 0.402

$\bar{x} = 4.230$

CV = 9.504 %

Del análisis de variancia, se observa que el p-valor en la fuente de variación (F. de V.) tratamientos es menor que 0.05, indicando que los tratamientos son diferentes estadísticamente. Los datos se presentan en la tabla 24. Se procedió a comparar las medias aplicando la prueba de Duncan.

**Figura 16. Prueba de Duncan para el contenido de Cd en raíces**



Se observa, de la prueba de Duncan, que en el suelo de Huancaní se presentó la mayor concentración de Cd en la raíz, superando estadísticamente a los demás tratamientos. Los datos se presentan en la figura 16. Se debe enfatizar que los valores de Cd encontrados en la raíz, son los más altos respecto a los demás órganos de la planta de papa. Todos los tratamientos superan el valor Límite permisible de Cd, que es 0.1 mg/kg; esto valida la hipótesis planteada.

#### **4.2.1.8 Concentración de Cd en tubérculos**

Para comprobar la hipótesis planteada, primero se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilks.

Para la prueba de normalidad se planteó las siguientes hipótesis:

H<sub>0</sub>: La población está distribuida normalmente.

H<sub>a</sub>: La población no está distribuida normalmente.

Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

**Tabla 25. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para la concentración de Cd en tubérculos.**

Tratamiento	Media	W	p-valor
1: El Mantaro	0.313	0.995	0.8586
2: Sincos	0.253	0.980	0.7232
3: Huancaní	0.353	0.997	0.9018
4: Mito	0.333	0.923	0.4628

**Fuente:** elaboración propia

Como el p-valor, en todos los tratamientos es mayor que 0.05, se acepta  $H_0$  y se rechaza  $H_a$ ; la población está distribuida normalmente. Los datos se presentan en la tabla 25. Se procedió a realizar el análisis de variancia.

**Tabla 26. Análisis de variancia de la concentración de Pb en tubérculos.**

F. de V.	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	0.017	3	0.006	0.409	0.7508
Error	0.109	8	0.014		
Total	0.126	11			

$S = 0.118$

$\bar{x} = 0.313$

$CV = 37.700 \%$

Del análisis de variancia, se observa que el p-valor en la fuente de variación (F. de V.) - tratamientos, es mayor que 0.05, indicando que los tratamientos son iguales estadísticamente. Los datos se presentan en la tabla 26. El promedio de Cd en los tubérculos, es superior al límite permisible ( $> 0.1$  mg/kg), lo cual valida la hipótesis planteada.

#### 4.2.2. Hipótesis específica 2

Los FBC y FT para Cd y Pb, son mayores que la unidad, y disminuyen el contenido de materia seca aérea en la planta de papa.

##### 4.2.2.1 El FBC para Pb en la planta de papa.

Para comprobar la hipótesis planteada, primero se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilks.

Para la prueba de normalidad se planteó las siguientes hipótesis:

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

**Tabla 27. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para el FBC de Pb.**

Tratamiento	Media	W	p-valor
1: El Mantaro	1.248	0.927	0.4744
2: Sincos	0.708	0.853	0.2483
3: Huancaní	0.533	0.904	0.3962
4: Mito	0.776	0.980	0.7270

**Fuente:** elaboración propia

Como el p-valor, en todos los tratamientos, es mayor que 0.05, se acepta Ho y se rechaza Ha; esto indica que la población está distribuida normalmente. Los datos se presentan en la tabla 27. Se procedió a desarrollar el análisis de variancia.

**Tabla 28. Análisis de variancia del FBC de Pb.**

F. de V.	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	0.841	3	0.280	2.141	0.1732
Error	1.048	8	0.131		
Total	1.889	11			

S = 0.362

$\bar{x} = 0.816$

CV = 44.363 %

Del análisis de variancia, se observa que el p-valor en la fuente de variación (F. de V.) -tratamientos es mayor que 0.05, indicando que los tratamientos son similares estadísticamente. Los datos se presentan en la tabla 28. El promedio indica que el FBC es menor que la unidad, lo cual no valida la hipótesis planteada.

#### 4.2.2.2 El FBC para Cd en la planta de papa

Para comprobar la hipótesis planteada, primero se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilks.

Para la prueba de normalidad se planteó las siguientes hipótesis:

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

**Tabla 29. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para el FBC de Cd.**

Tratamiento	Media	W	p-valor
1: El Mantaro	1.275	0.929	0.4918
2: Sincos	0.928	0.836	0.2047
3: Huancaní	0.841	0.989	0.7961
4: Mito	1.289	0.967	0.6498

**Fuente:** elaboración propia

Como el p-valor, en todos los tratamientos, es mayor que 0.05, se acepta Ho y se rechaza Ha; esto indica que la población está distribuida normalmente. Los datos se presentan en la tabla 29. Se procedió a desarrollar el análisis de variancia.

**Tabla 30. Análisis de variancia del FBC de Cd.**

F. de V.	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	0.486	3	0.162	10.142	0.0042
Error	0.128	8	0.016		
Total	0.613	11			

S = 0.126

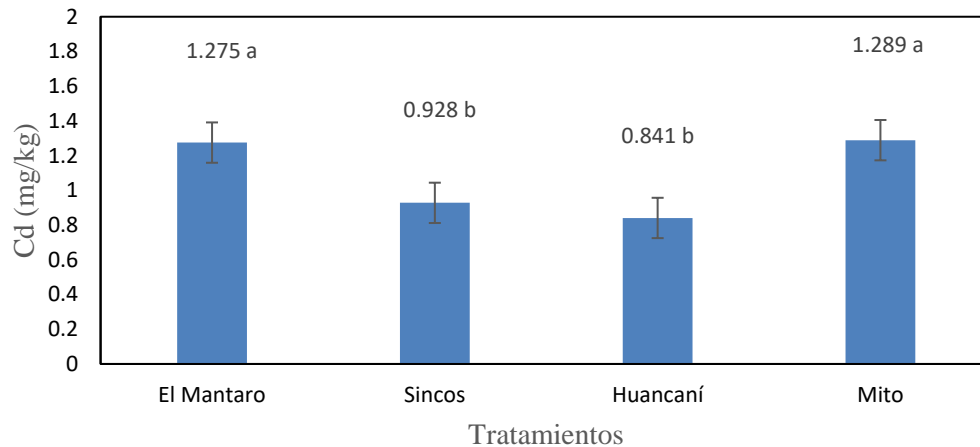
$\bar{x} = 1.083$

CV = 11.634 %



En el análisis de variancia, se observa que el p-valor en la fuente de variación (F. de V.) - tratamientos, es menor que 0.05, donde se indica que los tratamientos son diferentes estadísticamente. Los datos se presentan en la tabla 30. Se procedió a realizar la prueba de comparación de medias de Duncan.

**Figura 17. Prueba de Duncan para el FBC de Cd**



Se observa, de la prueba de Duncan, que en el suelo de El Mantaro y Mito presentaron el mayor FBC para Cd, superando estadísticamente a los demás tratamientos. Los datos se presentan en la figura 17. Los tratamientos que superan el valor de la unidad, validan la hipótesis planteada.

#### 4.2.2.3 El FT para Pb en la planta de papa

Para comprobar la hipótesis planteada, primero se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilks.

Para la prueba de normalidad se planteó las siguientes hipótesis:

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

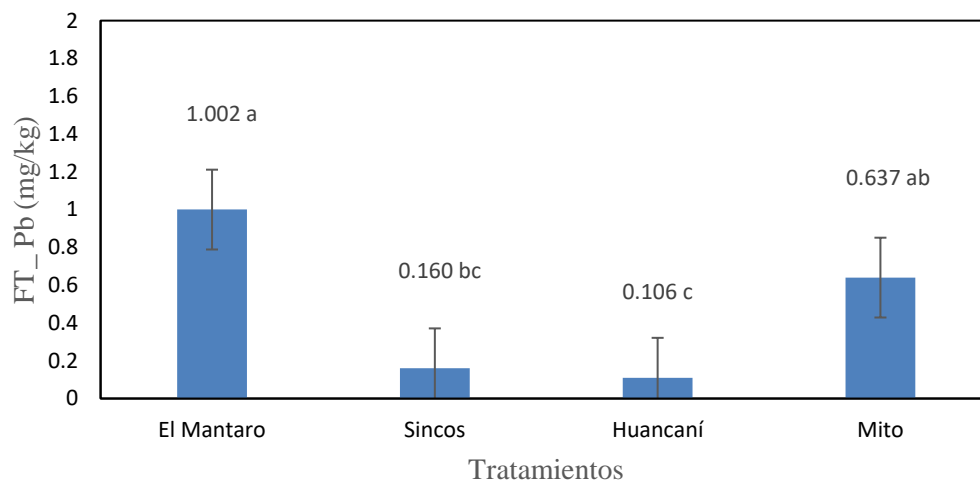
**Tabla 31. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para el FT de Pb.**

Tratamiento	Media	W	p-valor
1: El Mantaro	1.00	0.96	0.6182
2: Sincos	0.16	0.84	0.2060
3: Huancaní	0.11	0.80	0.1245
4: Mito	0.64	0.75	0.0094

**Fuente:** elaboración propia

Como el p-valor, en el tratamiento 4 es menor que 0.05, se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_a$ ; esto indica que la población no está distribuida normalmente. Los datos se presentan en la tabla 31. Se procedió a realizar la prueba de Duncan.

**Figura 18. Prueba de Duncan para el FT de Pb**



El Ft es superior, significativamente, en el Mantaro, respecto a los demás tratamientos. Los valores más bajos fueron en Sincos y Huancaní. Los datos se presentan en la figura 18.

#### 4.2.2.4 El FT para Cd en la planta de papa

Para comprobar la hipótesis planteada, primero se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilks.

Para la prueba de normalidad se planteó las siguientes hipótesis:

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

**Tabla 32. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para el FT de Cd.**

Tratamiento	Media	W	p-valor
1: El Mantaro	0.91	0.99	0.8021
2: Sincos	0.32	1.00	>0.9999
3: Huancaní	0.29	0.77	0.0518
4: Mito	1.16	1.00	0.9737

**Fuente:** elaboración propia

Como el p-valor, en todos los tratamientos, es mayor que 0.05, se acepta Ho y se rechaza Ha; esto indica que la población está distribuida normalmente. Los datos se presentan en la tabla 32. Se procedió a desarrollar el análisis de variancia.

**Tabla 33. Análisis de variancia del FT de Cd.**

F. de V.	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	1.70	3	0.57	9.58	0.0050
Error	0.47	8	0.06		
Total	2.17	11			

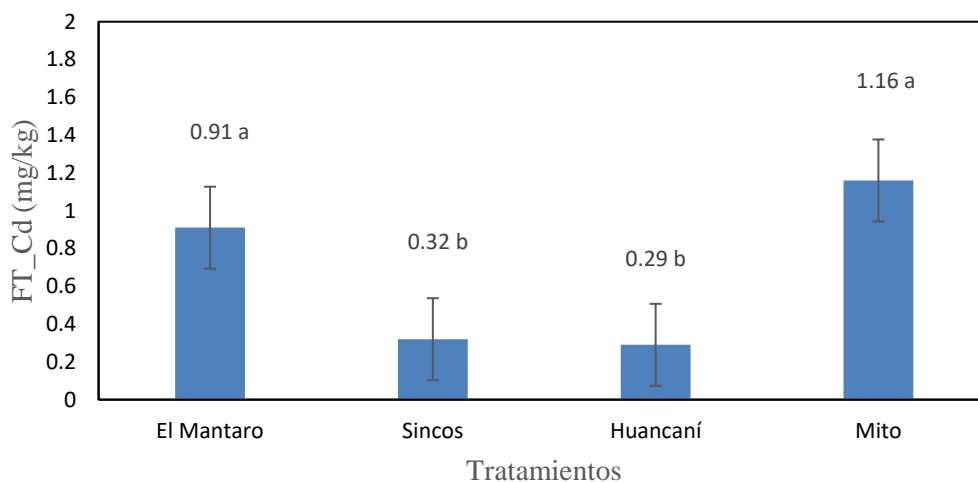
S = 0.245

$\bar{x} = 0.67$

CV = 36.57 %

Del análisis de variancia, se observa que el p-valor en la fuente de variación (F. de V.) - tratamientos, es menor que 0.05, indicando que los tratamientos son diferentes estadísticamente. Los datos se presentan en la tabla 33. Se procedió a realizar la prueba de comparación de medias de Duncan.

**Figura 19. Prueba de Duncan para el FT de Cd.**



Se observa en la prueba de Duncan, que los suelos de El Mantaro y Mito presentaron el mayor FT para Cd, superando estadísticamente a los demás tratamientos. Los datos se presentan en la figura 19. Los tratamientos que superan el valor de la unidad, validan la hipótesis planteada.

#### 4.2.2.5 El contenido de materia seca en la planta de papa

Para comprobar la hipótesis planteada, primero se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilks.

Para la prueba de normalidad se planteó las siguientes hipótesis:

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

**Tabla 34. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para el contenido de materia seca.**

Tratamiento	Media	W	p-valor
1: El Mantaro	51.930	0.793	0.0993
2: Sincos	42.387	0.984	0.7536
3: Huancaní	72.797	0.976	0.7027
4: Mito	56.447	0.835	0.2015

**Fuente:** elaboración propia

Como el p-valor, en todos los tratamientos, es mayor que 0.05, se acepta  $H_0$  y se rechaza  $H_a$ ; esto indica que la población está distribuida normalmente. Los datos se presentan en la tabla 34. Se procedió a desarrollar el análisis de variancia.

**Tabla 35. Análisis de variancia del contenido de materia seca.**

F. de V.	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	1452.501	3	484.167	9.759	0.0048
Error	396.906	8	49.613		
Total	1849.407	11			

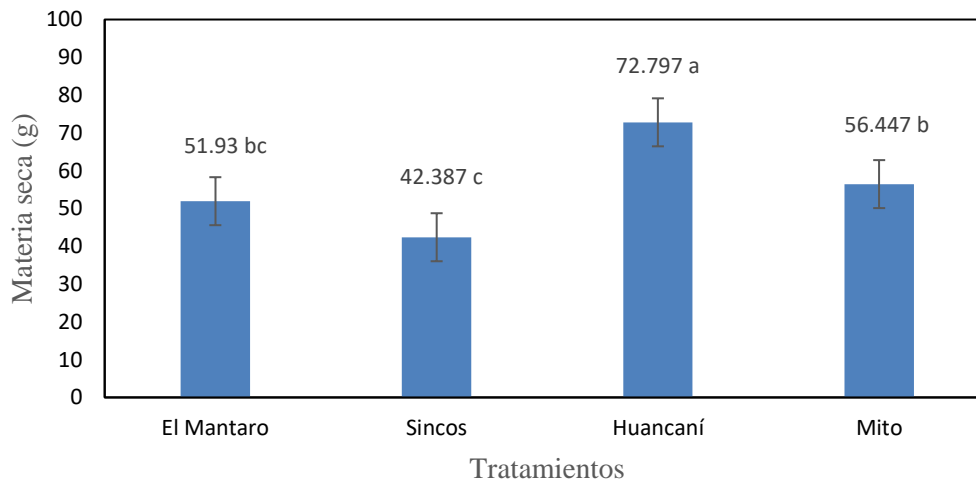
$S = 7.044$

$\bar{x} = 55.890$

$CV = 12.603 \%$

Del análisis de variancia, se observa que el p-valor en la fuente de variación (F. de V.) - tratamientos, es menor que 0.05, indicando que los tratamientos son diferentes estadísticamente. Los datos se presentan en la tabla 35. Se procedió a realizar la prueba de comparación de medias de Duncan.

**Figura 20. Prueba de Duncan para el contenido de materia seca**



Se observa, de la prueba de Duncan, que en el suelo de Huancaní tuvo la mayor cantidad de materia seca en la planta de papa, superando estadísticamente a los demás tratamientos. Los datos se presentan en la figura 20. La variación de la materia seca debido a la contaminación del suelo y la acumulación de Cd y Pb en la parte aérea, validan la hipótesis planteada.

### 4.2.3 Hipótesis específica 3

La concentración final de Pb y Cd en el suelo, disminuye significativamente en los suelos de El Mantaro, Sincos, Huancaní y Mito, debido a la absorción por el cultivo de papa.

#### 4.2.3.1 Concentración final de Pb en el suelo

Para comprobar la hipótesis planteada, primero se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilks.

Para la prueba de normalidad se planteó las siguientes hipótesis:

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

**Tabla 36. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para la concentración de Pb en el suelo.**

Tratamiento	Media	W	p-valor
1: El Mantaro	50.23	0.89	0.3507
2: Sincos	767.02	0.95	0.5698
3: Huancaní	1170.33	1.00	>0.9999
4: Mito	54.28	0.91	0.4061

**Fuente:** elaboración propia

Como el p-valor, en todos los tratamientos, es mayor que 0.05, se acepta  $H_0$  y se rechaza  $H_a$ ; esto indica que la población está distribuida normalmente. Los datos se presentan en la tabla 36. Se procedió a desarrollar el análisis de variancia.

**Tabla 37. Análisis de variancia de concentración de Pb en el suelo.**

F. de V.	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	2763504.22	3	921168.07	208.49	<0.0001
Error	35346.89	8	4418.36		
Total	2798851	11			

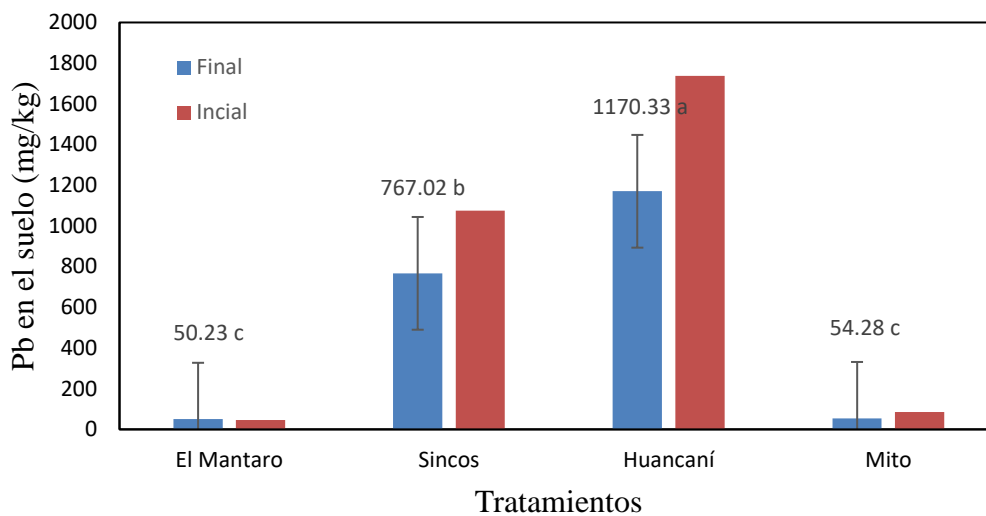
S = 66.471

$\bar{x} = 510.465$

CV = 13.02 %

Del análisis de variancia, se observa que el p-valor en la fuente de variación (F. de V.) -tratamientos es menor que 0.05, indicando que los tratamientos son diferentes estadísticamente. Los datos se presentan en la tabla 37. Se procedió a realizar la prueba de comparación de medias de Duncan.

**Figura 21. Prueba de Duncan para la concentración de Pb en el suelo, comparado al contenido inicial.**



Se observa en la prueba de Duncan que, el suelo de Huancaní tuvo la mayor cantidad de Pb al final del experimento, superando estadísticamente a los demás tratamientos. Los datos se presentan en la figura 21. Comparando los contenidos finales e iniciales, se observa una disminución significativa en cada tratamiento, lo cual valida la hipótesis planteada.

#### 4.2.3.2 Concentración final de Cd en el suelo

Para comprobar la hipótesis planteada, primero se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilks.

Para la prueba de normalidad se planteó las siguientes hipótesis:

Ho: La población está distribuida normalmente.

Ha: La población no está distribuida normalmente.

Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$



**Tabla 38. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks para la concentración final de Cd en el suelo.**

Tratamiento	Media	W	p-valor
1: El Mantaro	2.04	0.98	0.7384
2: Sincos	7.36	0.96	0.6394
3: Huancaní	7.82	0.85	0.2333
4: Mito	1.05	0.99	0.7806

**Fuente:** elaboración propia

Como el p-valor en todos los tratamientos, es mayor que 0.05, se acepta  $H_0$  y se rechaza  $H_a$ , esto indica que la población está distribuida normalmente. Los datos se presentan en la tabla 38. Se procedió a desarrollar el análisis de variancia.

**Tabla 39. Análisis de variancia de concentración de Cd en el suelo.**

F. de V.	SC	GL	CM	Fc	p-valor
Tratamientos	111.50	3	37.17	436.09	<0.0001
Error	0.68	8	0.09		
Total	112.18	11			

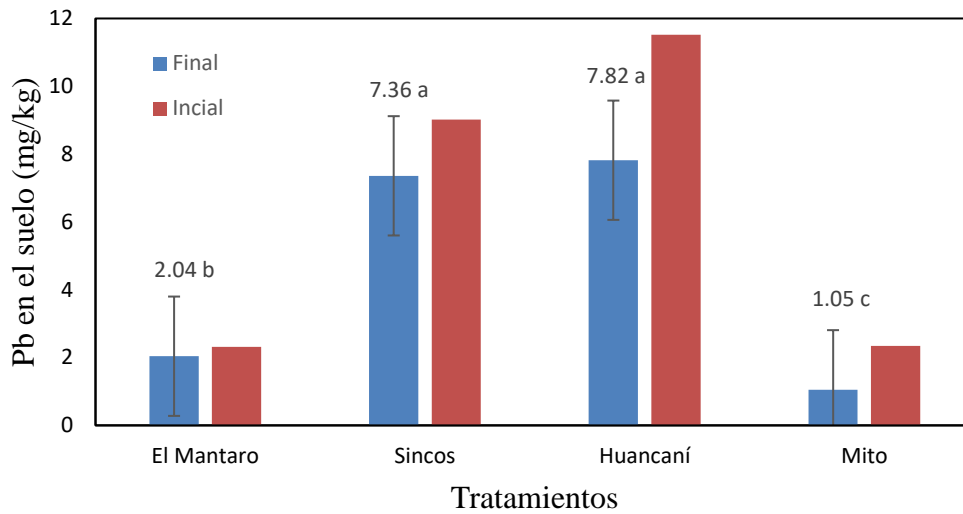
S = 0.300

$\bar{x} = 4.568$

CV = 6.57 %

En el análisis de variancia, se observa que el p-valor en la fuente de variación (F. de V.) - tratamientos, es menor que 0.05, indicando que los tratamientos son diferentes estadísticamente. Los datos se presentan en la tabla 39. Se procedió a realizar la prueba de comparación de medias de Duncan.

**Figura22. Prueba de Duncan para la concentración final de Cd en el suelo comparado al contenido inicial.**



Se observa en la prueba de Duncan, que en los suelos de Huancaní y Sincos tuvieron la mayor cantidad de Cd al final del experimento, superando estadísticamente a los demás tratamientos. El suelo de Mito tuvo un valor promedio inferior al ECA de suelos (1.4 mg/kg). Los datos se presentan en la figura15. Comparando los contenidos finales e iniciales, se observa una disminución significativa en cada tratamiento, lo cual valida la hipótesis planteada.

### 4.3 Discusión de resultados

El contenido de Pb en los diferentes órganos de la planta de papa, fue superior al Limite Permisible establecido para el cultivo de papa (72), evidenciado la absorción desde el suelo contaminado, con diferencias significativas en cada suelo.

En Sincos, la concentración de Pb en hojas y tallos fue significativamente superior a los demás tratamientos, en Huancaní, fue significativamente superior en raíces y en Mito, en los tubérculos. Esto está relacionado al mayor contenido de este metal pesado en Sincos (1075.71 mg/kg), Huancaní (1738.10 mg/kg) y Mito (85,80 mg/kg).

Estos datos difieren de los resultados de la evaluación realizada en Cajamarca (Cuencas de Chonta y Mashcon), donde no se encontró concentraciones detectables

de Pb en tubérculos, atribuible a menores concentraciones de Pb en el suelo (16). Asimismo, en los tubérculos analizados, procedentes de Ambo (Huánuco), la concentración de Pb fue inferior al LMP (19). En cambio, en reportes de Ecuador (Cuenca), muestran a la planta de papa con alta capacidad de acumular Pb, hasta un 48.41% de la cantidad presente en el suelo, afectando su productividad (18). En Nigeria, el Pb excedió los LMP en las muestras de tubérculos (22). Esta variedad de resultados, se atribuyen a la diferente concentración y disponibilidad de Pb en el suelo.

El contenido de Cd en las plantas de papa fue mayor en el suelo de Huancaní, tanto en hojas, tallos, raíces y tubérculos, similar a la concentración en hojas y tallos con el suelo de Sincos. Los suelos de El Mantaro y Mito presentaron menor concentración de Cd, comparado a los suelos de Sincos y Huancaní, en los diversos órganos de la planta de papa (hojas, tallos, raíces y tubérculos). Todos los valores fueron muy superiores a los LMP establecidos internacionalmente para esta especie: 0.1 mg/kg (72).

Los valores encontrados tienen relación con la mayor concentración de Cd en los suelos de Sincos y Huancaní, indicando que a mayor concentración de Cd en el suelo (> 5 mg/kg) la absorción de este metal pesado por el cultivo de papa es mayor.

Los resultados encontrados de Cd en este experimento, fueron similares a los resultados de análisis de tubérculos de papa en Cajamarca, donde las concentraciones superaron los LP del Codex Alimentarius en papa (16). En forma similar, en Amazonas (Perú), la concentración de Cd en hojas y tubérculos fueron superiores a los límites permisibles, debido a la alta concentración de Cd en el suelo, y representando un riesgo para la salud humana (17). En Jamaica también se encontraron resultados similares al evaluar los tubérculos de papa, encontrándose hasta un 50% más de concentración de Cd de lo recomendado por la Organización mundial de la Salud (WHO), lo cual se atribuye a la concentración de Cd en suelo (0.05 a 62.3 mg/kg) y el pH (26). Esto demuestra la relación directa entre la concentración de Cd en el suelo y su absorción por la planta.

El FBC para Pb y Cd fue mayor en promedio, en los distritos de Mito y El Mantaro. Siendo el Cd el que tuvo valores superiores a la unidad, lo cual calificaría a este cultivo como fitoextractor (76), acumulando el Cd del suelo en sus órganos,

especialmente en sus raíces. Para Pb los valores fueron inferiores a la unidad, indicando que este metal pesado absorbido por la planta, no se acumula significativamente en los órganos de la planta de papa.

Estos resultados son similares a lo reportado en los suelos kársticos (calcáreos) en China con FBC para tubérculos, entre 0 a 1.0, lo cual se atribuye a la alta concentración en el suelo, influenciado por los factores de pH y materia orgánica (23).

EL FT de Pb fue superior estadísticamente en El Mantaro, respecto a los demás tratamientos. Su valor mayor a 1, muestra que en este suelo la planta de papa logra translocar el Pb a la parte aérea e indica un potencial de fitoextracción de Pb por el cultivo de papa (73). En los suelos de Sincos, Huancaní y Mito, la planta de papa acumularía el Pb en las raíces, debido al  $FT < 1$ .

El FT para Cd, en el suelo de Mito tuvo un valor significativamente superior a 1 respecto a los demás tratamientos, indicando que en este suelo la planta de papa, transloca el Cd de la raíz hacia la parte aérea y tiene potencial de fitoextracción para este metal pesado (73). Las plantas de papa que crecieron en los suelos de El Mantaro, Sincos y Huancaní, por tener FT menores a 1, solo acumulan el Cd absorbido, en sus raíces (76).

La materia seca vegetal también fue influenciada por la presencia de Cd y Pb en el suelo, siendo los suelos de El Mantaro, Sincos y Mito los que tuvieron significativamente menor formación de materia seca, respecto al suelo de Huancaní. Los resultados se pueden explicar a través de la alta concentración de Cd en el suelo y su absorción por la planta. Existen antecedentes en donde se agregó al suelo hasta 60 mg Cd/kg en macetas de 10 kg de suelo y se concluyó que la contaminación de Cd afectó substancialmente los índices biológicos y crecimiento de papa (22).

El contenido de Pb en el suelo, al final del experimento, disminuyó significativamente, respecto al contenido inicial, siendo el suelo de Huancaní el que sobresalió estadísticamente. Los valores medidos en el suelo, aún sobrepasan el ECA de suelos varias veces. La disminución de la cantidad de Pb se atribuyó a la extracción de este metal pesado, pro el cultivo de papa.

El contenido de Cd en el suelo, al final del experimento, disminuyó en todos los suelos, pero fue significativo en Sincos y Huamaní, debido al mayor contenido inicial en el suelo. En el suelo de Mito, la concentración final se encontró en tenores inferiores al ECA de suelo (1.4 mg/kg). Estos resultados indican el efecto del cultivo de papa al absorber Cd del suelo contaminado, siendo calificado como un cultivo moderadamente acumulador de este metal pesado (70).

De los resultados encontrados, se deduce una acumulación de Pb y Cd en los órganos del cultivo de papa, con valores superiores a los Límites Permisibles (71), lo cual evidencia un riesgo de toxicidad para las personas consumidoras de este tubérculo y supone una recomendación para limitar el cultivo de papa en suelos con alta contaminación de estos metales pesados.

## CONCLUSIONES

- La concentración de Pb y Cd en la planta de papa fue superior a 0.1 mg/kg, que es el Límite Máximo Permisible, lo cual se atribuye a la alta concentración de estos metales pesados en los suelos de El Mantaro, Sincos, Huancaní y Mito.
- La concentración de Pb y Cd en los órganos de la planta de papa, tuvieron el siguiente orden: raíz > tallo > hoja > tubérculo.
- El Factor de Bioconcentración de Pb para la planta de papa fue inferior a la unidad, indicando baja acumulación. El Factor Bioconcentración para Cd fue mayor que 1 en El Mantaro y Mito, demostrando acumulación por la planta de este metal pesado.
- El Factor de Traslocación en la planta, para Pb fue significativamente superior en El Mantaro y para Cd en Mito.
- La concentración de Pb y Cd en el suelo disminuyó significativamente al final del experimento, para Pb a valores menores que el ECA en El Mantaro y Mito. Para Cd disminuyó a valores inferiores al ECA en el suelo de Mito.

## RECOMENDACIONES

- Limitar el cultivo de papa en suelos de Sincos, Mito, Huancaní y El Mantaro, debido a la absorción de Pb y Cd por este cultivo, en niveles superiores a los Límites Permisibles.
- Aplicar la fitorremediación de suelos, para disminuir la concentración de Pb y Cd en estos suelos, utilizando técnicas auxiliares como la aplicación de enmiendas orgánicas.
- Evaluar la concentración de otros metales pesados en la planta de papa que contaminan los suelos donde se cultiva esta especie alimenticia.
- Realizar investigaciones de absorción de metales pesados en diferentes variedades de papa, que se cultivan en el Valle del Mantaro.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GRANT, C.; CLARKE, J.; SUGUID, S.; and CHANEY, R. Selection and breeding of plant cultivars to minimize cadmium accumulation. *Science of the Total Environment* 390: 301 – 310. 2008. [fecha de consulta: 22 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18036635/>
2. CAMAS, D. y VALQUI, X. Evaluación de la concentración de cadmio en áreas de cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) de la localidad de Cohechán, distrito de Conila, provincia de Luya, departamento de Amazonas. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Chachapoyas: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza. 2016. 77 pp. [fecha de consulta: 17 de setiembre de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.untrm.edu.pe>
3. LUNA, R. y RODRÍGUEZ, V. Determinación de las concentraciones de cadmio y plomo en papa (*Solanum tuberosum*) cosechada en las cuencas de los ríos Mashcon y Chonta – Cajamarca. Tesis (Título de Químico Farmacéutico). Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 2016. 105 pp. [fecha de consulta: 17 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/4678>
4. MENDOZA-COZATL, D.; JOBE, T.; HAUSER, F.; AND SCHROEDER, J. Long-distance transport, vacuolar sequestration and transcriptional responses induced by cadmium and arsenic. *Curr Opin Plant Biol.* [en línea]. October, 2011. 14(5), 554-562 [fecha de consulta: 16 de septiembre de 2021]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2011.07.004>.
5. MENGIST, M.; MILBOURNE, D.; GRIFFIN, D.; McLAUGHLIN, M.; CREEDON, J.; JONES, P.; and ALVES, S. Cadmium uptake and partitioning in potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars with different tuber - Cd concentration. *Environ Sci Pollut Res* [en línea]. Dec, 2017. 24(35): 27384-27391 [fecha de consulta: 16 de septiembre de 2021]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-017-0325-3>
6. ZHANG, C.; APPEL, E.; and QIAO, Q. Heavy metal pollution in farmland irrigated with river water near steel plant-magnetic and geochemical signature. *Geophysical*



- J. Int.* 192: 963-974. 2012. [fecha de consulta: 16 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://academic.oup.com/gji/article/192/3/963/818622>
7. VILLA, O.; ESCOBAR, H.; AYALA, C.; MORTERA, E.; BELLO, R. y ORTIGOZA, A. Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 28: 39-48. 2012. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992012000100004](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000100004)
  8. GIRÁLDEZ L.; SILVA, Y. y TRASMONTE, G. Antecedentes generales del sector agricultura y los impactos de eventos meteorológicos extremos. Instituto Geofísico del Perú. Huancayo - Perú: Vol. 1.5. p.2 2012. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <http://met.igp.gob.pe/publicaciones/2010/Libro%20Completo.pdf>
  9. CANTORÍN, K.; FELIPE, R. Impacto de los eventos meteorológicos extremos (Eme) en la producción de papa de la región Junín, periodo 1997-2012. Tesis (Título de Economista). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú. 2016. 110 pp. [fecha de consulta: 26 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3310/Cantorin%20Meza-Felipe%20Inca.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
  10. CHACÓN, S. Efecto de cuatro concentraciones de plomo sobre el crecimiento e índice de tolerancia de plántulas *in vitro* de papa. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca. 2019. 64 pp. [fecha de consulta: 26 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/3569/EFECTO%20DE%20CUATRO%20CONCENTRACIONES%20DE%20PLOMO%20SOBRE%20EL%20CRECIMIENTO%20E%20C3%8DNDICE%20DE%20TOLERANCIA%20DE%20PL%3%81NTULA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
  11. CRISTOBAL, D. Evaluación de las concentraciones de cadmio en las hojas de maíz en relación a su disponibilidad en suelos de diferente pH en el Valle del Mantaro. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Huancayo: Universidad Continental. 2017. 64 pp. [fecha de consulta: 26 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/4439>

12. MUNIVE, R.; GAMARRA, G.; MUNIVE, Y.; PUERTAS, F.; VALDIVIEZO, L.; CABELLO, R. Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado y remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost. *Scientia Agropecuaria* 11(2): 177 - 186. 2020. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v11n2/2077-9917-agro-11-02-177.pdf>
13. GALLEGOS, E.; SANTILLÁN, E.; SANTILLÁN, J.; SANTACRUZ, L.; RIGOBERTO, J.; GONZÁLES, M.; y CAMARILLO, M. La respuesta de haba (*Vicia faba* L.) cultivada en suelos contaminados con diferentes concentraciones de cadmio. *Int. Contam. Ambient.* 28:119-126. 2012. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992012000200002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000200002)
14. AFONNE, O. and IFEDIBA, E. Heavy metals risks in plant foods – need to step up precautionary measures. *Current Opinion in Toxicology* 22: 1 – 6. 2020. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2468202020300024?via%3Dihub>
15. KHAN, M.; KHAN, S.; KHAN, A.; and ALAM, M. Soil contamination with cadmium, consequences and remediation using organic amendments. *Science of the Total Environment* 601 – 602: 1591-1605. 2017. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28609847/>
16. LUNA, R. y RODRÍGUEZ, V. Determinación de las concentraciones de cadmio y plomo en papa (*Solanum tuberosum*) cosechada en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta-Cajamarca. Tesis (Título de Químico Farmacéutico). Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 2016. 105 pp. [fecha de consulta: 26 de setiembre de 2021]. Disponible en: [https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/4678/Luna\\_ar.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/4678/Luna_ar.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
17. CAMAS, D. y VALQUI, X. Evaluación de la concentración de cadmio en áreas de cultivo de papa (*Solanum tuberosum* sp.) de la localidad Cohechán, distrito de Conila, provincia de Luya, departamento de Amazonas. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Chachapoyas: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.

2016. 77 pp. [fecha de consulta: 26 de setiembre de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/1508/Camas%20Soplin%20Deysi%20%20Valqui%20Reina%20Xiomara.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
18. TINTÍN, F. y MOSCOSO, P. Capacidad de absorción de la planta de papa *Solanum tuberosum* ssp *andigena*, en un suelo contaminado con plomo. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana. 2013. 139 pp. [fecha de consulta: 26 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8925/1/UPS-CT005169.pdf>
  19. LOPEZ, L.; GARCÍA, M.; MADUEÑO, F.; BAUTISTA, N.; MARÍN, G.; y OLORTEGUI, D. Metales pesados en tres variedades de *Solanum tuberosum* L. (papa) expendidos en el mercado mayorista de Santa Anita (Lima – Perú). *Ciencia e Investigación* 23 81): 25 - 30. 2020. [fecha de consulta: 26 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://revistas.gnbit.net/index.php/farma/article/view/18719/15790>
  20. LAVADO, P. Cuantificación de la concentración de plomo y cadmio en quinua (*Chenopodium quinoa* Wild) expendida en Lima Metropolitana comparada con los parámetros establecidos por la Unión Europea y Mercosur. Tesis (Título de Químico Farmacéutico y Bioquímico). Lima: Universidad Inca Garcilaso de la Vega. 2017. 78 pp. [fecha de consulta: 26 de setiembre de 2021]. Disponible en: [http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/2009/TESIS\\_PATRICIA%20MARIBEL%20LAVADO%20ORDO%C3%91EZ.pdf?sequence=2](http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/2009/TESIS_PATRICIA%20MARIBEL%20LAVADO%20ORDO%C3%91EZ.pdf?sequence=2)
  21. HASSAN, W.; BANO, R.; BASHIR, S.; and ASLAM, Z. Cadmium toxicity and soil biological index under potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivation. *Soil Research* 54 (4) 460 – 468. 2016. [fecha de consulta: 26 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.publish.csiro.au/sr/sr14360>
  22. OLABANJI, D.; OLUWAFEOLA, T.; SAKA, K.; EBUNOLUWA, A.; JAMES, O.; BABASOLA, F.; FRIDAY, I.; and ADEKUNLE, A. Evaluating the levels of cadmium, lead and nickel present in *Solanum tuberosum* L. (Iris Potato) marketed in industrialized areas of Ogun State, Nigeria. *Nigerian Journal of Pharmaceutical and Applied Science Research* 6 (1): 73-76. 2017. [fecha de consulta: 26 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.nijophasr.net/index.php/nijophasr/article/view/170>
  23. LIU, K.; ZHOU, H.; CHEN, Z.; and WANG, X. Prediction of cadmium transfer from soil to potato in karst soils, China. *Frontiers in Environmental Science*

- 9:684887. 2021. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2021.684887/full>
24. GRAY, C.; YI, Z.; LETHO, N.; ROBINSON, B.; MUNIR, K.; and CAVANAGH, A. Effect of cultivar type and soil properties on cadmium concentrations in potatoes. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 47:3, 182 – 197. 2019. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/citedby/10.1080/01140671.2019.1599028?scroll=top&needAccess=true>
25. NZEDIEGWU, C.; PRASHER, S.; ELSAYED, E.; DHIMAN, J.; and MAWOF, A. Effect of biochar on heavy metal accumulation in potatoes from wastewater irrigation. *Journal of Environmental Management* 232: 153 – 164. 2019. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0301479718312787?token=296160DD35D567CC087046BA1B347DB351A974B2AAE4450A0708470404A8F8D30F735A867B7004C01B1AC125D12562D2&originRegion=us-east-1&originCreation=20211001165514>
26. SANDERSON, D.; VOUTCHKOV, M.; and BENKEBLIA, N. Bioaccumulation of cadmium in potato tuber grown on naturally high levels cadmium soils in Jamaica. *Science of the Total Environment* 649: 909 – 915. 2019. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30179819/>
27. MUSILOVA, J.; BYSTRICKA, J.; VOLLMANNOVA, A.; VOLNOVA, B.; and HEGEDUSOVA, A. Factors affecting heavy metals accumulation in potato tubers. *Environmental Protection and Natural Resources*. Vol. 26 N° 3(65): 54-59. 2015. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://sciendo.com/pdf/10.1515/oszn-2015-0018>
28. DELINE, W.; VALDES, R.; LÓPEZ, O.; GURIDI, F.; y BALBIN, M. Riesgo agroambiental por metales pesados en suelos con cultivares de *Oriza sativa* L. y *Solanum tuberosum* L. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol 24, N° 1, 44-50. 2015. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-00542015000100006](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542015000100006)
29. HUANG, F.; SHOU, H.; GU, J.; LIU, C.; YANG, W.; LIAO, B.; and ZHOU, H. Differences in absorption of cadmium and lead among fourteen sweet potato cultivars and health risk assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*.

- Volume 203, oct 15: 111012. 2020. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32684522/>
30. OLABANJI, D.; OLUWAFEOLA, T.; SAKA, K.; EBUNOLUWA, A.; OLATUNDE, O.; AYODELE, F.; FRIDAY, I.; and ADEKUNLE, A. Evaluating the levels of Cadmium, Lead and Nickel present in *Solanum tuberosum* L. (Irish potato) marketed in industrialized areas of Ogun State, Nigeria. *Nigerian Journal of Pharmaceutical and Applied Science Research*, 6(1): 73-76. 2017. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.nijophasr.net/index.php/nijophasr/article/view/170>
  31. HASSAN, W.; BANO, R.; BASHIR, S.; and ASLAM, Z. Cadmium toxicity and soil biological index under potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivation. *Soil Research* 54(4): 460-468. 2016. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.publish.csiro.au/sr/sr14360>
  32. NZEDIEGWU, C.; PRASHER, S.; ELSAYED, E.; DHIMAN, J.; MAWOF, A.; and PATEL, R. Effect of biochar on heavy metal accumulation in potatoes from wastewater irrigation. *Journal of Environmental Management* 232: 153-164. 2019. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30472558/>
  33. WEIL, R.; and BRADY, N. *The nature and properties of soils*. Fifteenth edition. Pearson. Boston. USA. 2017. ISBN 9780133254488.
  34. ALLOWAY, B. Sources of Heavy Metals and Metalloids in Soils. In: B.J. Alloway (ed.). *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*. UK: Environmental Pollution 22, Springer. 2013. ISBN 9789400744691.
  35. MIRSAL, I. *Soil Pollution. Origin, Monitoring & Remediation*. 2nd edition. Berlín: Springer. 2010. ISBN 9783642089688.
  36. YARON, B.; CALVET, R.; and PROST, R. *Soil Pollution Processes and Dynamics*. Germany: Springer. 1996. ISBN 354060927.
  37. MISRA, S.; and MANI, D. *Soil Pollution*. New Delhi: APH Publishing Corporation. 2012. ISBN 9788131304723.
  38. ADRIANO, D. *Trace elements in terrestrial environments; biogeochemistry, bioavailability and risks of metals*. 2nd edition. New York: Springer. 2001. ISBN 0387986782.

39. SMOLDERS, E.; BRANS, K.; FOLDI, A.; and MERCKX, R. Cadmium fixation in soils measured by isotopic dilution. *Soil Science Society of American Journal*, 63(1), 78-85. 1999. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1999.03615995006300010013x>
40. SMOLDERS, E. and MERTENS, J. Cadmium. B.J. Alloway (ed.). *Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*, Environmental Pollution 22, DOI. Springer. 2013. ISBN 9789400744691.
41. BUEKERS, J., DEGRYSE, F., MAES, A., & SMOLDERS, E. Modelling the effects of ageing on Cd, Zn, Ni and Cu solubility in soils using an assemblage model. *European Journal of Soil Science*, 59(6), 1160-1170. 2008. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2389.2008.01053.x>
42. LIU, Y.; XIAO, Y.; NING, Z.; LI, H.; TANG, J.; and ZHOU, G. High cadmium concentration in soil in the Three Gorges region: geogenic source and potential bioavailability. *Appl. Geochem*, 37, 149-156. 2013. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0883292713002023>
43. SHAH, M.; BEGUM, S.; and KHAN, S. Pedo and biogeochemical studies of mafic and ultramafic rocks in the Mingora and Kabal areas, Swat, Pakistan. *Environ. Earth Sci.* 60, 1091-1102. 2010. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/226078267>
44. HE, Z.; YANG, X.; and STOFFELLA, P. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 19 (2), 125 – 140. 2005. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16325528/>
45. KHAN, M.; KHAN, S.; KHAN, A.; and ALAM, M. Soil contamination with cadmium, consequences and remediation using organic amendments. *Science of the Total Environment*, 601-602, 1591 – 1605. 2017. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28609847/>
46. CLOQUET, C.; CARIGNAN, J.; LIBOUREL, G.; STERCKEMAN, T.; and PERDRIX, E. Tracing source pollution in soil using cadmium and lead isotopes.

- Environ. Sci. Technol.* 40, 2525-2530. 2006. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es052232%2B>
47. BROWN, T.; IDOINE, N.; RAYCRAFT, E.; SHAW, R.; DEADY, E.; HOBBS, S.; and BIDE, T. World Mineral Production 2011-15. 2017. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: [https://www2.bgs.ac.uk/mineralsuk/download/world\\_statistics/2010s/WMP\\_2015\\_2019.pdf](https://www2.bgs.ac.uk/mineralsuk/download/world_statistics/2010s/WMP_2015_2019.pdf)
  48. U.S. GEOLOGICAL SURVEY. Mineral Commodity Summaries. 2017. *U.S. Geological Survey* <http://dx.doi.org/10.3133/70180197> (202 p., ISBN 978-1-4113-4104-3).
  49. ROY, M.; and McDONALD, L. Metal uptake in plants and health risk assessments in metal-contaminated smelter soils. *Land Deg. Develop.* 26 (8), 785 – 792. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ldr.2237>
  50. McBRIDE, M. *Environmental Chemistry of soils*. New York: Oxford University Press. 1994. ISBN-10 0195070119.
  51. BUNZL, K.; SCHMIDT, W.; & SANSONI, B. Kinetics of ion-exchange in soil organic matter. 4. Adsorption and desorption of Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> and Ca<sup>2+</sup> by peat. *Journal of Soil Science*, 27, 32-41. 1976. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2389.1976.tb01972.x>
  52. CHRISTL, I.; MILNE, C.; KINNIBURGH, D.; & KRETSCHMAR, R. Relating ion binding by fulvic and humic acids to chemical composition and molecular size. 2. Metal binding. *Environmental Science and Technology*, 35, 2512-2517. 2001. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es0002520>
  53. HILDEBRAND, E.; & BLUM, W. Lead fixation by clay minerals. *Naturwissenschaften*, 61, 169. 1974. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/6312148>
  54. KINNIBURGH, D.; JACKSON, M.; & SYERS, J. Adsorption of alkaline earth, transition, and heavy metal cations by hydrous gels of iron and aluminum. *Soil Science Society of America Journal*, 40, 796-799. 1976. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en:



<https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1976.036159950040000500047x>

55. USMAN, A. The relative adsorption selectivities of Pb, Cu, Zn, Cd and Ni by soils developed on shale in New Valley, Egypt. *Geoderma*, 144, 334-343. 2008. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/223936561>
56. MADRID, F., DÍAZ-BARRIENTOS, E., & MADRID, L. Availability and bio-accessibility of metals in the clay fraction of urban soils of Sevilla. *Environmental Pollution*, 108, 391-409. 2008. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18653266/>
57. HOODA, P., & ALLOWAY, B. Cadmium and Lead sorption behavior of selected English and Indian soils. *Geoderma*, 84, 121-134. 1998. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://eprints.kingston.ac.uk/id/eprint/23380/>
58. SIPOS, P., NÉMETH, T., MOHAI, I., & DÓDONY, I. Effects of soil composition on adsorption of lead as reflected by a study on a natural forest soil profile. *Geoderma*, 124, 363-374. 2005. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/223900797>
59. APPEL, C., & MA, L. Concentration, pH, and surface charge effects on cadmium and lead sorption in three tropical soils. *Journal of Environmental Quality*, 31, 581-589. 2002. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/jeq2002.5810>
60. McLAUGHLIN, M.; WHATMUFF, M.; WARNE, M.; HEEMSBERGEN, D.; BARRY, G.; BELL, M. A field investigation of solubility and food chain accumulation of biosolid-cadmium across diverse soil types. *Environmental Chemistry*, 3(6), 428-432. 2006. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.publish.csiro.au/en/en06061>
61. BROWN, S.; CHANEY R.; ANGLE J.; and RYAN J. The phytoavailability of cadmium to lettuce in long-term biosolid amended soil. *Journal of Environmental Quality* 27, 1071-1078. 1998. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/jeq1998.00472425002700050012x>



62. LI, Y.; CHANEY, R.; SCHNEITER, A.; MILLER, J.; ELIAS, E.; and HAMMOND, J. Screening for low grain cadmium phenotypes in sunflower, durum wheat and flax. *Euphytica*, 94(1), 23-30, 1997. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1002996405463>
63. LI, J.; YANG, X.; HE, Z.; JILANI, G.; SUN, C.; & CHEN, S. Fractionation of lead in paddy soils and its bioavailability to rice plants. *Geoderma*, 141, 174-180. 2007. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/233421610>
64. KOEPPE, D. The uptake, distribution, and effect of cadmium and lead in plants. Stevens Report, *Stevens Institute of Technology*, 7(3), 197-206. 1977.
65. DAVIES, B. Lead. In B.J. Alloway (Ed.), *Heavy metals in soils* (pp. 206-223). London: Blackie Academic & Professional. 1995. ISBN 9789401045865.
66. SAUVÉ, S.; MCBRIDE, M.; & HENDERSHOT, W. Speciation of lead in contaminated soils. *Environmental Pollution*, 98, 149-155. 1997. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-005-9008-7>
67. MURRAY, Y.; & HENDERSHOT, W. Trace metal speciation and bioavailability in urban soils. *Environmental Pollution*, 107, 137-144. 2000. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15093017/>
68. MENZIES, N.; DONN, M.; & KOPITTKKE, P. Evaluation of extractants for estimation of the phytoavailable metals in soils. *Environmental Pollution*, 145, 121-130. 2007. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16777287/>
69. QIAN, J.; SHAN, X.; WANG, Z.; and TU, Q. Distribution and plant availability of heavy metals in different particle-size fraction of soil. *Science of the Total Environment*, 187, 131-141. 1996. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0048969796051340>
70. ELISSA, M.; and NEGIM, O. Heavy metals uptake and translocation by lettuce and spinach grown on a metal-contaminated soil. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 18: 1097 - 1107. 2018. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-95162018000401097&lng=es&nrm=iso&tlng=es](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-95162018000401097&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

71. UNION EUROPEA. Contenidos máximos en metales pesados en productos alimenticios. 2016. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://plaguicidas.comercio.gob.es/es-es/contaminates/MetalPesa.pdf>
72. REYES, Y.; VERGARA, I.; TORRES, O.; DIAZ, M.; and GONZÁLES, E. Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, Vol. 16 N° 2: 66.77. 2016. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110>
73. MARCHIOL, L.; ASSOLARI, S.; SACCO, P.; and ZERBI, G. Phytoextraction of heavy metals by canola (*Brassica napus*) and radish (*Raphanus sativus*) grown on multicontaminated soil. *Environ, Poll.* 132: 21-27. 2004. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/8434043>
74. MELLEN, J.; BAIJANTH, H.; ODHAV, B. Translocation and accumulation of Cr, Hg, As, Pb, Cu and Ni by *Amaranthus dubius* (Amarantaceae) from contaminated sites. *J. Environ. Sci. Health*, 44: 568.575. 2009. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19337919/>
75. GHOSH, M.; and SINGH, S. A comparative study of cadmium phytoextraction by accumulator and weed species. *Environ, Poll.* 133: 365-371. 2005. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15519467/>
76. BLAYLOCK, M.; SALT, D.; DUSHENKOV, S.; ZAKHAROVA, O.; GUSSMAN, C.; KAPULNIK, Y.; ENSLEY, B.; and RASKIN, I. Enhanced accumulation of Pb in Indian Mustard by soil applied chelating agents. *Environ. Sci. Technol.*, 31: 860-865. 1997. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://abdn.pure.elsevier.com/en/publications/enhanced-accumulation-of-pb-in-indian-mustard-by-soil-applied-che>
77. MUSILOVA, J.; BYSTRICKA, J.; VOLLMANNOVA, A.; JANOTOVA, B.; ORSAK, M.; HARANGOZO, L.; and HEGEDUSOVA, A. Safety of potato consumption in Slovak Region contaminated by heavy metals due to previous mining activity. *J. Food Qual.* 11. 2017. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.hindawi.com/journals/jfq/2017/9385716/>

78. LEBLEBICI, Z.; AKSOY, A.; and AKGUL, G. Accumulation and effects of heavy metals on potatoes (*Solanum tuberosum* L.) in the Nevsehir, Turkey. *Fresenius Environ Bull* 26: 7083 – 7090. 2017. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20183049452>
79. REID, R.; DUNBAR, K.; and MCLAUGHLIN, M. Cadmium loading into potato tubers: the roles of periderm, xylem and phloem. *Plant, Cell and Environment*, 26, 201 – 206. 2003. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1046/j.1365-3040.2003.00945.x>
80. MENDOZA-COZATI, D.; JOBE, T.; HAUSER, F.; and SCHROEDER, J. Long-distance transport, vacuolar sequestration and transcriptional responses induced by cadmium and arsenic. *Curr Opin Plant Biol.*, 14(5): 554-562. 2011. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21820943/>
81. LUX, A.; MARTINKA, M.; VACULIK.; M.; and WHITE, P. Root responses to cadmium in the rhizosphere: a review. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 62, N° 1: 21-37. 2011. [fecha de consulta: 26 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20855455/>
82. MINAM. Glosario de términos. Sitos Contaminados. Ministerio del Ambiente, Lima, Perú. 2016. Consulta: [24 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2015/02/2016-05-30>
83. SANCHEZ - LOPEZ, A.; GONZALES – CHAVEZ, M.; y CARRILLO – GONZALES, R. Absorber, inmovilizar o atrapar. Funciones de las plantas en la remediación de sitios contaminados por elementos potencialmente tóxicos. *Agroproductividad*: Vol 10, Num. 4, abril. Pp. 80 – 86. 2017. [fecha de consulta: 22 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/1007/861>
84. MENDEZ, S.; AMACHI, F.; VERA, M.; y ESPINOZA, I. Fitorremediación al plomo asimilable, una biotecnología promisoría. *Revista Ciencia y Tecnología para el Desarrollo - UJCM*. Diciembre, 2016. 2(4):73-77. [fecha de consulta: 18 de setiembre de 2021]. Disponible en: <https://revistas.ujcm.edu.pe>
85. VIGOSA – MERCADO, J.; y FONSECA, R. Una nueva especie de *Muhlenbergia* (Poaceae, Chloridoideae, Cynodonteae) del estado de Guerrero, México. 2019. *Acta*

*Botánica Mexicana* 126: e1464. Disponible en:  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-71512019000100128](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-71512019000100128)

86. USEPA 305 A. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, and soils. 1998.
87. Skoog D.A., Holler F.J., Crouch S.R. Principios de análisis instrumental. 6ta edición, Cengage Learning, México. 2001.
88. STEEL, R.G.D. y TORRIE, J.H. Bioestadística: principios y procedimientos. Segunda edición. McGraw – Hill. Madrid. 1985. 0070709268.
89. Arroyo A., J. ¿Cómo ejecutar un plan de investigación?. Fundación para el Desarrollo de las Ciencias. 2012
90. MINAM. Guía de Muestreo de Suelos. 2014.
91. BALZARINI M.G., GONZALEZ L.A., TABLADA M., CASANOVES F., DI RIENZO J.A. and ROBLEDO C.W. Infostat. *Manual del Usuario*: Editorial Brujas, Córdoba, Argentina. p. 80, 2008.
92. 92. FAGERIA, N., BALIGAR, V., and CLARK, R. *Physiology of Crop Production*. New York: Food Products Press. 2006. ISBN 9780429180286.
93. CARITAS. Proyecto Mantaro Revive. 2007.

# **ANEXOS**

exo I. Análisis de suelo



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS  
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



**ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION**

Solicitante : VICENTE CUSI TICLLACURI

Departamento : JUNÍN  
 Distrito : EL MANTARO  
 Referencia : H.R. 73096-102C-20

Bolt.: 4312

Provincia : JAUJA  
 Predio :  
 Fecha : 25/11/2020

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>			
8217	EM	6.08	0.75	0.00	4.28	8.7	171	25	28	47	Ar.	18.72	15.94	2.28	0.39	0.10	0.00	18.72	18.72	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número de Muestra		Pb ppm	Cd ppm
Lab.	Claves		
8217	EM	45.88	2.32



*Braulio La Torre Martínez*  
**Ing. Braulio La Torre Martínez**  
 Jefe del Laboratorio



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS  
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



**ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION**

Solicitante : VICENTE CUSI TICLLACURI

Departamento : JUNÍN  
 Distrito : SINCOS  
 Referencia : H.R. 73098-102C-20

Bolt.: 4312

Provincia : JAUJA  
 Predio :  
 Fecha : 25/11/2020

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>			
8219	SI	7.20	2.51	9.06	2.41	30.2	174	39	46	15	Fr.	13.92	12.48	0.90	0.43	0.11	0.00	13.92	13.92	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número de Muestra		Pb ppm	Cd ppm
Lab.	Claves		
8219	SI	1075.51	9.02



*B. La Torre Martínez*  
 Ing. Braulio La Torre Martínez  
 Jefe del Laboratorio





**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS**  
**LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES**



**ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION**

Solicitante : VICENTE CUSI TICLLACURI

Departamento : JUNIN  
 Distrito : LEONOR ORDÓÑEZ  
 Referencia : H.R. 73099-102C-20

Bolt.: 4312

Provincia : JAJJA  
 Predio :  
 Fecha : 25/11/2020

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena	Limo	Arcilla			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>			
8220	HU	7.52	0.70	17.65	2.41	35.4	152	47	38	15	Fr.	12.80	10.25	1.92	0.51	0.12	0.00	12.80	12.80	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número de Muestra		Pb ppm	Cd ppm
Lab	Claves		
8220	HU	1738.10	11.52



*B. La Torre*  
 Ing. Braulio La Torre Martínez  
 Jefe del Laboratorio





# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : VICENTE CUSI TICLLACURI

Departamento : JUNÍN

Distrito : MITO

Referencia : H.R. 73097-102C-20

Bolt.: 4312

Provincia : CONCEPCIÓN

Predio :

Fecha : 25/11/2020

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub> %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>			
8218	MI	7.43	0.68	12.88	2.21	46.3	398	29	40	31	Fr.Ar.	13.60	10.32	2.20	0.96	0.11	0.00	13.60	13.60	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso

Número de Muestra		Pb ppm	Cd ppm
Lab.	Claves		
8218	MI	85.80	2.34



Ing. Braulio La Torre Martínez  
Jefe del Laboratorio



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : VICENTE CUSI TICLLACURI  
PROCEDENCIA : JUNÍN/ HUANCAYO/ HUALHUAS  
REFERENCIA : H.R. 74100  
BOLETA : 4526  
FECHA : 20/05/2021

Lab	Número Muestra	Pb ppm	Cd ppm
	Claves		
867	EM-1-S	55.96	2.05
868	EM-2-S	49.64	1.93
869	EM-3-S	49.08	2.14
870	HU-1-S	1147.91	8.22
871	HU-2-S	1266.50	8.08
872	HU-3-S	1096.56	7.17
873	MI-1-S	54.29	1.04
874	MI-2-S	54.22	1.00
875	MI-3-S	54.34	1.10
876	SI-1-S	731.74	7.35
877	SI-2-S	689.05	7.41
878	SI-3-S	860.28	7.32



  
Ing. Braulio La Torre Martínez  
Jefe del Laboratorio



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : VICENTE CUSI TICLLACURI  
PROCEDENCIA : JUNIN/ HUANCAYO/ HUALHUAS  
REFERENCIA : H.R. 74101  
BOLETA : 4525  
FECHA : 29/04/2021

N° LAB	CLAVES	Pb ppm	Cd ppm
853	EM-1-R	43.35	2.17
854	EM-2-R	15.69	1.17
855	EM-3-R	25.83	1.44
856	HU-1-R	830.00	7.22
857	HU-2-R	785.00	7.48
858	HU-3-R	900.00	7.94
859	MI-1-R	36.88	1.70
860	MI-2-R	46.75	1.40
861	MI-3-R	38.95	1.20
862	SI-1-R	825.00	6.84
863	SI-2-R	571.25	6.13
864	SI-3-R	564.50	6.07
865	EM-1-T	7.79	0.60
866	EM-2-T	7.10	0.48
867	EM-3-T	5.07	0.67
868	HU-1-T	37.28	1.31
869	HU-2-T	101.25	1.25
870	HU-3-T	43.43	0.97
871	MI-1-T	6.62	0.74
872	MI-2-T	11.69	0.87
873	MI-3-T	25.85	1.08
874	SI-1-T	135.93	1.29
875	SI-2-T	18.61	0.76
876	SI-3-T	55.18	0.96

N° LAB	CLAVES	Pb ppm	Cd ppm
877	EM-1-H	7.84	0.47
878	EM-2-H	4.48	0.36
879	EM-3-H	15.36	0.58
880	HU-1-H	18.39	0.59
881	HU-2-H	17.89	0.78
882	HU-3-H	19.32	0.50
883	MI-1-H	5.04	0.29
884	MI-2-H	8.68	0.38
885	MI-3-H	8.77	0.41
886	SI-1-H	31.10	0.83
887	SI-2-H	22.64	0.76
888	SI-3-H	46.23	0.73
889	EM-1-Tb	33.45	0.33
890	EM-2-Tb	4.69	0.50
891	EM-3-Tb	1.21	0.11
892	HU-1-Tb	9.76	0.41
893	HU-2-Tb	5.98	0.35
894	HU-3-Tb	11.27	0.30
895	MI-1-Tb	5.58	0.24
896	MI-2-Tb	1.34	0.36
897	MI-3-Tb	3.59	0.40
898	SI-1-Tb	2.45	0.34
899	SI-2-Tb	7.42	0.18
900	SI-3-Tb	6.37	0.24



Ing. Braulio La Torre Martínez  
Jefe de Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM  
Tel.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622  
Celular: 946-505-254  
e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

**Tabla 4. Resultados del análisis de caracterización, de los suelos del experimento.**

Parámetro	El Mantaro	Sincos	Huancaní	Mito
pH	6.08	7.20	7.52	7.43
Conductividad Eléctrica (dS/m)	0.75	2.51	0.70	0.68
CaCO <sub>3</sub> (%)	0.00	9.06	17.65	12.88
Materia Orgánica (%)	4.28	2.41	2.41	2.21
Arena (%)	25.00	39.00	47.00	29.00
Limo (%)	28.00	46.00	38.00	40.00
Arcilla (%)	47.00	14.00	15.00	31.00
Clase textural	Arcilla	Franco	Franco	Franco Arcilloso
Fósforo (ppm)	8.70	30.20	35.40	46.30
Potasio (ppm)	171.00	174.00	152.00	398.00
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) (meq/100 g)	18.72	13.92	12.80	13.60
Calcio cambiante (meq/100 g)	15.94	12.48	10.25	10.32
Magnesio cambiante (meq/100 g)	2.28	0.90	1.92	2.20
Potasio cambiantes (meq/100 g)	0.39	0.43	0.51	0.96
Sodio cambiante (meq/100 g)	0.10	0.11	0.12	0.11
Aluminio más Hidrógeno	0.00	0.00	0.00	0.00
Saturación de bases (%)	100.00	100.00	100.00	100.00

**Fuente:** Laboratorio de Análisis de Suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima

El suelo de El Mantaro tiene un pH ligeramente ácido (pH = 6.0 – 6.5), los demás suelos tuvieron pH ligeramente alcalino (pH = 7.0 – 7.8). La conductividad eléctrica (CE) calificó a los suelos como no salinos (CE = 0 – 2 dS.m<sup>-1</sup>), excepto el suelo de Sincos que tuvo una calificación de muy ligeramente salino (CE = 0 – 2 dS.m<sup>-1</sup>). Los suelos de Sincos y Mito, tuvieron alto contenido de calcáreo (CaCO<sub>3</sub> = 5 – 15 %); el suelo de Huancaní, tuvo contenido muy alto (CaCO<sub>3</sub> > 15 %).

Los suelos de Sincos, Huancaní y Mito, tuvieron contenido medio de materia orgánica ( $MO = 2 - 4 \%$ ); el suelo de El Mantaro, tuvo alto contenido ( $MO > 4 \%$ ). Respecto a la distribución del tamaño de partícula, el suelo de El Mantaro, tuvo predominancia de arcilla, los suelos de Sincos y Mito tuvieron predominancia de limo; en el suelo de Huancaní, predominó la arena; de allí que el suelo de El Mantaro, tuvo una textura fina (arcillosa); los suelos de Sincos y Huancaní textura media (franco) y el suelo de Mito textura moderadamente fina (Franco arcilloso). El contenido de P en El Mantaro, fue medio ( $P = 7 - 14 \text{ ppm}$ ); en Sincos, Huancaní y Mito, alto ( $P > 14 \text{ ppm}$ ). El potasio fue medio en El Mantaro, Sincos y Huancaní ( $K = 100 - 240 \text{ ppm}$ ) y en Mito, fue alto ( $K > 240 \text{ ppm}$ ).

La CIC fue moderadamente alta en todos los suelos ( $CIC = 12 - 20 \text{ meq}/100 \text{ g}$ ). De los cationes cambiables, predomina el calcio en todos los suelos ( $Ca^{+2} > Mg^{+2} > K^{+} > Na^{+}$ ). El aluminio más hidrógeno estuvo ausente en todos los suelos, debido al pH. La saturación de bases fue alta ( $SB > 50\%$ ). La calificación de estos datos se realizó con la Tabla de interpretación de análisis de suelos (Anexo 2). Los datos se presentan en la tabla 4.

## Anexo II

### Escala de interpretación de análisis de suelos

#### 1. Textura<sup>1</sup>

Términos Generales		Clase textural	Símbolo
Suelos	Textura		
Arenosos	Gruesa	Arena	A.
		Arena franca	A.Fr.
Francos	Media	Moderadamente gruesa	Fr.A.
		Franco	Fr.
		Franco limoso	Fr.L.
		Limoso	L.
	Moderadamente fina	Franco arcilloso	Fr.Ar.

		Franco arcillo limoso	Fr.Ar.L.
		Franco arcillo arenoso	Fr.Ar.A.
Arcillosos	Fina	Arcillo arenoso	Ar.A.
		Arcillo limoso	Ar.L.
		Arcilloso	Ar.

## 2. pH<sup>1</sup>

Rangos	Clases
< 5,5	Fuertemente ácido
5,5 – 6,0	Moderadamente ácido
6,0 – 6,5	Ligeramente ácido
6,5 – 7,0	Neutro
7,0 – 7,8	Ligeramente alcalino
7,8 – 8,4	Medianamente alcalino
>8,4	Fuertemente alcalino

## 3. Conductividad eléctrica<sup>1</sup>

Clase	Calificación	Conductividad Eléctrica dS/m
0	No salino	0 – 2
1	Muy ligeramente salino	2 – 4
2	Ligeramente salino	4 – 8
3	Moderadamente salino	8 – 16
4	Fuertemente salino	≥ 16

#### 4. Materia Orgánica<sup>2</sup>

Nivel	%
Bajo	< 2
Medio	2 – 4
Alto	> 4

#### 5. Fósforo disponible<sup>2</sup>

Nivel	P (ppm)
Bajo	< 7
Medio	7 - 14
Alto	> 14

#### 6. Potasio disponible<sup>2</sup>

Nivel	K (ppm)
Bajo	< 100
Medio	100 – 240
Alto	> 240

#### 7. Capacidad de Intercambio Catiónico<sup>3</sup>

Nivel	CIC (meq/100 g)
Muy Baja	< 4
Moderadamente Baja	4 – 8
Baja	8 – 12
Moderadamente Alta	12 – 20
Alta	> 20

## 8. Saturación de bases<sup>3</sup>

Nivel	Suma de Cationes (%)	Acetato de Amonio (%)
Bajo	< 35	< 50
Alto	> 35	> 50

## 9. Calcáreo<sup>3</sup>

Nivel	% CaCO <sub>3</sub>
Bajo	< 1
Medio	1 – 5
Alto	5 – 15
Muy alto	>15

- (1) Soil Survey Division Staff. 2017. Soil Survey Manual. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18.
- (2) Reglamento de Clasificación de Tierras según su Capacidad de Uso Mayor, Lima, Perú.
- (3) Departamento de Suelos y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria, La Molina 2002.



Anexo 3

GALERÍA FOTOGRÁFICA

**Figura 1. *Terreno muestreado de El Mantaro.***



**Fotografía 2. *Toma de muestra de suelo de El Mantaro***





**Fotografía 3. *Terreno muestreado de Sincos***



**Fotografía 4. *Toma de muestra de suelo de Sincos***





**Fotografía 5. *Terreno muestreado de Huancaní***



**Fotografía 6. *Toma de muestra de suelo de Huancaní.***





**Fotografía 7. Terreno muestreo de Mito**



**Fotografía 8. Toma de muestra de suelo de Mito.**





**Fotografía 9. Muestras compuestas de suelo**



**Fotografía 10. Secado de suelo bajo sombra**





**Fotografía 11. Pesado de las muestras de cada maceta**



**Fotografía 12. Saturación con agua, de las muestras antes de la instalación.**





**Fotografía 13. Siembra e identificación de unidades experimentales.**



**Fotografía 14. Después del primer aporte**





**Fotografía 15.** *Después del segundo aporque.*



**Fotografía 16.** *Cosecha de tubérculos y toma de muestras.*

