

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Fitorremediación de suelos contaminados por plomo mediante alfalfa (*Medicago sativa*) y papa (*Solanum tuberosum*) en Carapongo, Lurigancho, Lima – 2020

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Luz Clarita Yesabella López López

Asesor:

Mg. Joel Hugo Fernández Rojas

Lima, febrero de 2022

DECLARACION JURADA DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS

Mg. Joel Hugo Fernández Rojas, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, escuela profesional de Ingeniería Ambiental, de la universidad peruana unión.

DECLARO

Que el presente informe de investigación titulado “FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR PLOMO MEDIANTE ALFALFA (*Medicago sativa*) Y PAPA (*Solanum tuberosum*) EN CARAPONGO, LURIGANCHO, LIMA – 2020”, constituye la memoria que presenta la bachiller LOPEZ LOPEZ LUZ CLARITA YESABELLA, para aspirar el título profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad de los autores, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Lima 05, de Abril de 2023



Mg. Joel Hugo Fernández Rojas

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **25 días** día(s) del mes de **febrero** del año 2022 siendo **las 10:30 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Iliana Del Carmen Gutiérrez Rodríguez**, el secretario: **Ing. Orlando Alan Poma Porras**, y los demás miembros: **Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio y la Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga**, y el asesor **Mg. Joel Hugo Fernández Rojas**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: “Fitorremediación de suelos contaminados por plomo mediante alfalfa (*Medicago sativa*) y papa (*Solanum tuberosum*) en Carapongo, Lurigancho, Lima - 2020” de el(los)/la(las) bachiller/es:

a) **LUZ CLARITA YESABELLA LÓPEZ LÓPEZ**

conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**

(Nombre del Título profesional)

con mención

en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): **LUZ CLARITA YESABELLA LÓPEZ LÓPEZ**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A-	MUY BUENO	SOBRESALIENTE

Candidato (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(* *Ver parte posterior*)

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.



Presidente

Mg. Iliana Del Carmen
Gutierrez Rodriguez

Secretario

Ing. Orlando Alan
Poma Porras

Asesor

Mg. Joel Hugo
Fernández Rojas

Miembro

Mg. Jackson Edgardo
Perez Carpio

Miembro

Mg. Milda Amparo
Cruz Huaranga

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y su apoyo incondicional, a mis hermanos por estar siempre que los necesito.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de la vida.

A mi madre, que con su demostración de madre ejemplar me enseñó a no rendirme ante cualquier circunstancia y siempre salir adelante y no rendirme también agradecerle por sus sabios consejos.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	13
ABSTRACT	14
CAPÍTULO I	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.1. Descripción del problema	15
1.2. Justificación	16
1.3. Presuposición Filosófica	19
1.4. Delimitaciones	19
1.5. Viabilidad de investigación	20
1.6. Objetivos.....	20
1.6.1. Objetivo general	20
1.6.2. Objetivos específicos.....	20
CAPITULO II.....	21
2. MARCO TEÓRICO	21
2.1. Antecedentes de la investigación	21
2.1.1. Mundial	21
2.1.2. Nacionales	22
2.2. Bases teóricas.....	24
2.2.1. Metales pesados.....	24
2.2.2. Influencia en los ciclos biológicos y geoquímicos	25
2.2.3. Efectos de los metales pesados en los suelos y salud pública.....	26
2.2.3.1. Plomo	26
2.2.3.1.1. Origen	28
2.2.3.1.2. Acoplamiento del plomo con sustancias húmicas.....	28
2.2.3.1.3. Contaminación y mecanismos de tolerancia.....	29
2.2.3.1.4. Efectos en la salud poblacional.....	29
2.2.3.2. Fitorremediación	30
2.2.3.2.1. Efectos Fisiológicos.....	31
2.2.3.2.2. Interacción de la planta frente al metal	32
2.2.3.2.4. Agua de riego.....	35
2.2.3.3. Alfalfa (Medicago sativa)	35
2.2.3.3.1. Definición	35
2.2.3.3.2. Propiedades.....	36
2.2.3.4. Papa (Solanum Tuberosum ssp. Andigena) variedad “sumac sonco”.....	37
2.2.3.4.1. Definición	37
2.2.3.4.2. Propiedades.....	38
2.2.3.5. Características fisicoquímicas del suelo.....	39
2.2.3.5.1. Color del suelo	39
2.2.3.5.2. Textura.....	40
2.2.3.5.3. PH.....	40
2.2.3.6. Marco legal	41
2.2.3.6.1. Constitución Política.....	41
2.2.3.6.2. Ley general del ambiente	41
2.2.3.6.3. Estándar de Calidad Ambiental Suelo (ECA).....	41
2.2.3.6.4. Estándar de Calidad Ambiental Agua (ECA)	41
CAPITULO III	43
3. MATERIALES Y MÉTODO.....	43
3.1. Diseño de la investigación	43
3.2. Lugar de ejecución del experimento	43

3.3. Características de la parcela experimental	44
3.4. Materiales y Equipos	45
3.4.1 Materiales	45
3.4.2 Equipos	45
3.5. Metodología	46
3.5.1 Extracción de la premuestra del suelo	46
3.5.2. Preparación de muestras y materiales	47
3.5.3. Seguridad en el trabajo	47
3.5.4. Medición de Parámetros de Campo	47
3.5.5. Composición y análisis del suelo	48
3.5.6. Extracción de la muestra de agua de riego	48
3.5.7. Siembra y riego	49
3.5.4. Muestreo	50
3.5.4.1 Rotulado	50
3.5.4.2 Preservación y cadena de custodia	50
3.5.4.3 muestro de evaluación	51
3.6 Hipótesis	53
3.6.1 Hipótesis General	53
3.6.2 Hipótesis específico	53
3.7. Análisis estadístico	53
3.8. Operacionalización de las variables	53
CAPITULO IV	55
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES	55
4.1. RESULTADOS	55
4.1.1. Evaluación de Calidad de Agua de Riego	55
4.1.2 Remoción de plomo en suelo	56
4.1.3 Potencial de hidrógeno	61
4.1.4 Materia orgánica	63
4.1.5 Conductividad eléctrica	64
4.2. DISCUSIONES	66
CAPITULO V	69
CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES	70
REFERENCIAS	70
ANEXOS	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Concentración de plomo según uso del suelo	41
Tabla 2 Tabla concentración de plomo en el agua	42
Tabla 3 Profundidad de muestreo según uso del suelo	47
Tabla 4 Comparaciones con las concentraciones establecidas por el ECA(categoría 3,D1)	49
Tabla 5 Descripción de variables del experimento	54
Tabla 6 Evaluación de la calidad de agua de riego	55
Tabla 7 Concentración de plomo en el post muestra.....	57
Tabla 8 Porcentaje de remoción de Pb en la post muestra	58
Tabla 9 Prueba T-Student para la variable concentración de plomo.....	60
Tabla 10 Prueba T-Student para la variable pH	62
Tabla 11 Prueba T-Student para la variable materia orgánica	63
Tabla 12 Prueba de Friedman para la variable conductividad eléctrica.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Porcentajes de la contaminación de suelos por metales pesados.....	25
Figura 2. Ciclo biogeoquímico del plomo.....	26
Figura 3. Dinámica del proceso de inhibición de semilla de maíz (<i>Zea mays</i>) y frejol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) tratados con solución de nitrato de plomo (5g l^{-1}) (n=30).....	27
Figura 4. Proceso de absorción del plomo en la planta.....	31
Figura 5. Principales procesos fisiológicos.....	32
Figura 6. Etapas y mecanismos de acumulación.....	35
Figura 7. Planta de alfalfa en floración.....	36
Figura 8. Valor nutricional de la alfalfa.....	37
Figura 9. Partes de la planta de papa.....	38
Figura 10. Información nutricional de la papa.....	39
Figura 11. Ubicación del área de estudio.....	43
Figura 12. Distribución de maceteros en campo.....	44
Figura 13. Modelo aleatorio de selección de la premuestra.....	46
Figura 14. Distribución de maceteros en campo.....	50
Figura 15. Gráfico de cajas de la concentración de plomo.....	56
Figura 16. Concentración de Plomo, en parte por millón (ppm).....	57
Figura 17. Porcentaje de la remoción de plomo en la post muestra.....	59
Figura 18. Influencia de los parámetros del suelo PH, M.O y C.E en el cultivo de alfalfa.....	60
Figura 19. Influencia de los parámetros del suelo PH, M.O y C.E en el cultivo de papa.....	61
Figura 20. Gráfico de cajas de la variable pH.....	62
Figura 21. Gráfico de cajas de la variable materia orgánica.....	63
Figura 22. Gráfico de cajas de la variable conductividad eléctrica.....	65

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Concentración de plomo en suelo	77
ANEXO 2. Potencial de hidrógeno	79
ANEXO 3. Materia orgánica.....	81
ANEXO 4. Conductividad eléctrica.....	83
ANEXO 5. Presupuesto	85
ANEXO 6. Análisis físico-químico de la pre-muestra del suelo.....	86
ANEXO 7. Informes del laboratorio de suelos	87

SIMBOLOS USADOS

RESUMEN

La contaminación por metales que provienen del medioambiente y desechos, afecta a la población (Zapata, 2019). Además, afecta a los agricultores en el país, ya que tiene como consecuencia problemas críticos en el suelo (Chávez, 2014). Las plantas han desarrollado mecanismos específicos para absorber y acumular los metales pesados (Llanos, 2017). El objetivo del presente trabajo es evaluar la capacidad fitorremediadora de metales pesados en el suelo por la planta de alfalfa (*Medicago sativa*) y papa (*Solanum tuberosum*). La alfalfa es una planta perenne, considerada importante entre las especies forrajeras para heno y pastos (Bonilla, 2013). La papa es una planta herbácea anual, siendo uno de los alimentos más importantes a nivel mundial (FAO, 2008). El material vegetal fueron semillas de papa (*Solanum tuberosum* ssp. Andigena) variedad “Sumac sonco” y alfalfa (*Medicago sativa*) variedad “Alto andina- W350” sembrados de manera directa en suelo aluvial extraído de las riberas del Río Rimac y sometidos a un riego controlado. El diseño experimental utilizado fue estadística descriptiva, se separaron en dos bloques con tres filas cada uno y en cada fila 8 repeticiones durante un periodo de ocho semanas. Las variables respuestas fueron concentración de plomo, porcentaje de remoción de plomo, pH, conductividad eléctrica y materia orgánica del suelo. Los datos obtenidos fueron analizados mediante la prueba paramétrica t-student a un nivel de significancia de 0.05 para datos emparejados, que presentan homogeneidad de varianzas y normalidad de errores, ya que son muestras de pre y post prueba, donde se obtuvo diferencias significativas en las variables, por lo que se concluyó que el cultivo de papa y alfalfa en los suelos contaminados con plomo, reducen la concentración de plomo en el suelo, la planta de papa presenta una mayor capacidad fitorremediadora y el pH es un factor importante para determinar la solubilidad de los metales pesados en el suelo.

Palabras clave: *Solanum tuberosum*, *Medicago sativa*, fitorremediación, plomo

ABSTRACT

Pollution by metals that come from the environment and waste affects the population (Zapata, 2019). In addition, it affects the country's farmers, which has as a consequence critical problems in the country (Chávez, 2014). Plants have developed specific mechanisms to absorb and accumulate heavy metals (Llanos, 2017). The purpose of this work is to evaluate the phytoremediation capacity of heavy metals in the soil by the alfalfa plant (*Medicago sativa*) and potato (*Solanum tuberosum*). Alfalfa is a perennial plant, considered important among the grass species for hay and pastures (Bonilla, 2013). The potato is an annual herbaceous plant, being one of the most important foods worldwide (FAO, 2008). Plant material made from seeds of pap (*Solanum tuberosum ssp. Andigena*) variety "Sumac sonco" and alfalfa (*Medicago sativa*) variety "Alto Andina- W350" direct sowing in alluvial soil extracted from the ridges of the Rimac river and attached to a controlled irrigation. The experimental design used was descriptive statistics, separated from the blocks with three rows each and each row 8 repetitions during a period of eight weeks. The variables responded to the concentration of the plume, percentage of lead removal, pH, electrical conductivity and organic matter of the material. The data obtained were analyzed using the parametric t-student tool at a significance level of 0.05 for paired data, which presents a homogeneity of variances and normality of errors, which is why there are significant changes in post and post, where differences are obtained. significant in them. variables, because it was concluded that the cultivation of potatoes and alfalfa in soil contaminated with plume, reduced the concentration of plume in the plume, the pap plant has a greater capacity for phytoremediation and the pH is an important factor in determining of the solubility of heavy metals in the soil.

Keywords: *Solanum tuberosum*, *Medicago sativa*, phytoremediation, lead

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

Uno de los problemas más complejos para los agricultores en el país es la contaminación que provienen del medioambiente y los desechos, como relaves mineros y demás actividades extractivas, que tienen como consecuencia problemas críticos que atraviesan los suelos como disminución o desequilibrio en el contenido de nutrientes fundamentales en el suelo, dificultad de enraizamiento de los cultivos y baja retención de agua. (Chávez, 2014). Teniendo en cuenta que muchas de las sustancias contaminantes pueden encontrarse de forma natural en el suelo, gran parte de ellas tienen como fuentes principales a las actividades humanas como la minería (Chávez, 2014). Dentro de las principales sustancias contaminantes se incluyen los metales pesados como plomo, cromo, arsénico, zinc, cadmio, cobre, mercurio y níquel. El plomo es un contaminante mayor en el ambiente porque genera gran preocupación para la salud humana y los ecosistemas, ya que por su peso molecular tienden acumularse en suelos, sedimentos y cuerpos de agua en forma rápida (Sharma y Shanker, 2005).

También, Vargas (2017) menciona que el avance de la ciencia y el aumento en el crecimiento demográfico se llega en algunos casos a atentar contra el equilibrio biológico de la Tierra. Por ello, se tiene que tener un equilibrio y mantener un buen recaudo para las futuras generaciones. Además, el impacto por los vertidos de las aguas residuales provenientes de las actividades extractivas formales e informales al no darle un tratamiento adecuado estos superan los Estándares de Calidad de Agua (ECA).

Por otro lado, se ha reportado que el agua de riego es uno de los causantes principales de la contaminación de los cultivos, lo cual se debe a la contaminación producida por desechos industriales, mineros o residuos de fertilizantes, además de haberse registrado que las tierras de cultivo presentan mayor concentración de plomo cuando estas se encuentran cerca a lugares de gran congestión vehicular (Salas-Marcial, 2019).

En la actualidad existen diversas técnicas fisicoquímicas utilizadas para el tratamiento de estas sustancias las cuales han mostrado algunas deficiencias y efectos secundarios a largo plazo (Covarrubio, 2016). Por esta razón, es importante la implementación de otro tipo de

tecnologías que involucren seres vivos con capacidades metabólicas. Hay estrategias biológicas en donde microorganismos y plantas pueden inmovilizar o transformar el metal in situ, lo cual puede reducir su biodisponibilidad (Beltrán-Pineda, 2016), dado que una vez que los metales son liberados, se absorben muy fácilmente a través de las membranas biológicas.

Bajo este contexto, la fitorremediación o tratamiento con plantas, aparece como una potencial solución de remediación de suelos contaminados por metales pesados. Si bien es cierto, no implican una alteración del medio local, es amigable con el ambiente y poco costoso. Así mismo, muchas especies vegetales nativas de zonas contaminadas que han desarrollado a lo largo del tiempo cierta resistencia y tolerancia a estos contaminantes, pueden convertirse en candidatas para programas de fitorremediación, ahorrando el tiempo que normalmente toma la adaptación de especies foráneas al área a tratar (Chávez, 2014).

Una de estas especies nativas es la papa, la cual es un tubérculo de importancia porque aporta proteínas, energía, minerales y vitaminas, además está adaptada a las condiciones y cultura del poblador de la sierra peruana. Por otro lado, la alfalfa que contiene un alto valor nutricional (calcio, fósforo, etc.), tiene un proceso de extracción de plomo que inicia a través de la raíz y acumula las diferentes cantidades y porcentajes en sus hojas y flores.

Los cultivos de los suelos de Carapongo – Chosica usan el agua de riego que proviene del río Rímac, dicha agua está contaminada por diferentes metales. Los agricultores de Carapongo tienen su sustento económico en base a la agricultura de hortalizas desarrollada en el lugar. La producción de estas hortalizas, lo comercializan a diversos mercados, principalmente a los de la zona y lo usan también para su propio consumo. Sin embargo, el desconocimiento de que el suelo contiene plomo afecta directamente a los consumidores, ya que la ingesta constante de estos cultivos contaminados por plomo puede causar enfermedades sobre la población consumidora.

1.2. Justificación

1.2.1 Social

Se tiene muchas localidades afectadas por la contaminación por plomo donde Chávez (2014) menciona que “la minería antigua en el Perú ha dejado muchos pasivos que la población continúa pagando en la actualidad estos casos son emblemáticos, ya que han generado daños en la población por la alta contaminación de plomo. Donde en esto se muestra lo que ha dejado a su paso una actividad que durante mucho tiempo trabajó sin tener cuidado ni respeto a las poblaciones locales y al medio ambiente.

Por su parte, Zapata (2019) menciona que la población cercana a las minas son las más afectadas, al realizar el cierre de la mina no se tiene un restablecimiento sobre las condiciones del ambiente y de los problemas causados durante su explotación y genera aguas ácidas, bocaminas sin taponar y canchas de relaves en mal estado. Los problemas son múltiples esto se debe a una mala gestión política administrativa y al no tenerse un respeto a las normas del estado peruano. Donde se debe procurar brindar mayor conciencia sobre el impacto en el ambiental y los riesgos a la salud ocasionados por la exposición a los distintos metales pesados y otras sustancias químicas. Las poblaciones ubicadas dentro del área de influencia de las actividades productivas se debe tener medida de protección porque están expuestas a los metales pesados o se debe reubicar a las personas a otros lugares no estén siendo afectados por la contaminación.

1.2.2 Económico

Según, Zapata (2019) el Perú está confrontando en la actualidad problemas ambientales serios, incluso en el contexto económico, ya que no le permite realizar de forma generalizada las soluciones de control de contaminación ambiental que son utilizadas en países desarrollados. Según, Chávez (2014) Uno de los retos que propone es de encontrar formas de recuperar los ecosistemas dañados a fin de que no sigan causando problemas a la salud de las personas y en los ecosistemas, también se puede proponer soluciones de remediación, pero estos métodos usados tienen un elevado costo y demandan movilizaciones de terreno para ser tratado ex-situ. Además, se aplica algunos agentes químicos que pueden generar problemas adicionales de contaminación. Por ello, es necesario la búsqueda de formas alternativas de remediación de suelos que sean de sencillas y de bajo costo.

La minería es una de las actividades económicas más dinámicas en el Perú, pero también donde se genera una serie de daños ambientales. Esto trae grandes cantidades de relaves que a menudo contienen concentraciones de metales dañinos como cadmio, cobre y plomo

debido a una mala gestión administrativa y ambiental. También, menciona que en el proceso de fitominería las plantas acumulan elementos tóxicos inorgánicos en cantidades altas en la biomasa que son retirados del suelo mediante absorción y cuando el metal fitoextraído puede ser recuperado de la biomasa, se obtiene un beneficio económico (Zapata, 2019).

1.2.3 Ambiental

La contaminación de suelos, ponen de manifiesto la creciente preocupación por el medio ambiente, los cuales vienen siendo gestionados en el Perú, a través de entidades privadas y públicas. Este tema ha generado enorme interés en el ámbito científico, propiciando el desarrollo de diferentes sistemas para estimar y remediar la contaminación de metales pesados en los suelos, hoy en día existen enormes posibilidades de descubrir nuevas plantas tolerantes a metales pesados.

Según, Giraldez (2019) manifiesta que la preocupación por el medio ambiente, los cuales vienen siendo gestionado en el Perú, a través de entidades privadas y públicas. También menciona que este tema ha generado enorme interés en el ámbito científico, propiciando el desarrollo de diferentes sistemas para estimar y remediar la contaminación de metales pesados en los suelos. Asimismo, menciona que los agricultores desconocen la problemática de suelos contaminados por plomo en sus comunidades. El uso del *Medicago sativa* (Alfalfa) y *Solanum tuberosum* (papa) son plantas fitorremediadoras de un suelo con presencia de plomo en concentraciones potencialmente dañinas para el ser humano y toda la cadena trófica.

Esta investigación pretende dar a conocer la eficiencia de la papa y la alfalfa para fitorremediar un suelo contaminado con plomo, y así lograr la recuperación y/o minimización del impacto negativo del plomo en los suelos, considerando a la fitorremediación como alternativa ecológica económica de mejora de los ecosistemas. Asimismo, esta investigación se realiza con la finalidad de aportar conocimiento a los agricultores que desconocen la problemática de suelos contaminados por plomo en sus comunidades. Esto dará una idea fundamentada y clara para recomendar o no el uso de *Medicago sativa* (Alfalfa) y *Solanum tuberosum* (papa), como plantas fitorremediadoras de un suelo con presencia de plomo en concentraciones potencialmente dañinas para el ser humano y toda la cadena trófica; aportando directamente a la mitigación de problemas ambientales que aquejan al suelo y consumidores de los productos cultivados en el lugar.

1.3 Presuposición Filosófica

La contaminación del suelo es considerada uno de los problemas más complejos en la actualidad esto se debe a que las diversas actividades del hombre han ocasionado la infertilidad del suelo agrícola como el exceso de uso de fertilizantes, la industrias, minas, etc.

Pero para esta degradación del suelo existen diversas maneras de restaurar como la fitorremediación este proceso que se da con plantas y es muy factible ya que es de bajo costo su proceso y muy factible para los agricultores.

Un suelo fitorremediado ayuda a mejorar la producción de la cosecha además este proceso ayuda a restablecer sus nutrientes de suelo porque este cumple un papel indispensable para el ser humano y toda la biodiversidad.

Dios creo este recurso tan esencial y vital para los seres vivos, pero con el pasar del tiempo los hombres con sus diversas actividades estamos deteriorando el recurso vital, en la actualidad hay más degradación que remediación.

Jeremías 2:7 Yo os traje a una tierra fértil, para que comierais de su fruto y de sus delicias; pero vinisteis y contaminasteis mi tierra, y de mi heredad hicisteis abominación

Hebreos 6:7

Porque la tierra que bebe la lluvia que con frecuencia cae sobre ella y produce vegetación útil a aquellos por los cuales es cultivada, recibe bendición de Dios;

Levítico 25:19

“Entonces la tierra dará su fruto, comeréis hasta que os saciéis y habitaréis en ella con seguridad

Números 13:20

y cómo es el terreno, si fértil o estéril. ¿Hay allí árboles o no? Procurad obtener algo del fruto de la tierra. (Aquel tiempo era el tiempo de las primeras uvas maduras.

1.4. Delimitaciones

Entre las principales delimitaciones de la investigación se tienen las siguientes:

- **Temporal:** El estudio responde a ensayos experimentales que se evaluaron en los meses de febrero, marzo y abril del 2020.

- **Espacial:** La investigación se realizó usando una muestra de suelo de las áreas de cultivo de Carapongo, la instalación del experimento se realizó en el campus de la Universidad Peruana Unión, ubicados en el distrito de Lurigancho-Chosica.
- **Temática:** Se circunscribió realizar un estudio sobre las variables, dimensiones e indicadores de la fitorremediación de suelos contaminados por plomo, usos de la Medicago sativa (Alfalfa) y Solanum tuberosum (papa).

1.5. Viabilidad de investigación

Esta investigación es viable considerando que se tiene amplia predisposición y anuencia del área de cultivo. Asimismo, es de alta aplicabilidad a beneficio de los agricultores independientes que se dedican a la agricultura como actividad principal, en diferentes campos de cultivo de tipo hortícolas, de tubérculos y frutícolas.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Determinar la eficiencia de la fitorremediación de suelo contaminado por plomo, mediante los cultivos de papa y alfalfa, en Carapongo Lurigancho – Lima.

1.6.2. Objetivos específicos

- Comparar las eficiencias de remoción de plomo por los cultivos de papa y alfalfa, en Carapongo Lurigancho - Lima 2020
- Evaluar la concentración final de plomo en el suelo cultivado de papa y alfalfa, en Carapongo Lurigancho - Lima 2020.
- Evaluar el efecto del agua de riego en la solubilidad del plomo en el suelo de Carapongo Lurigancho - Lima 2020.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Mundial

Peláez et al (2016) en su investigación titulada “Presencia de cadmio y plomo en suelos y su bioacumulación en tejidos vegetales en especies de *Brachiaria* en el Magdalena Medio colombiano” tuvo como objetivo estimar la frecuencia de pasturas tropicales como *Brachiaria* adaptadas a suelos metalíferos y cómo responden estas con la presencia de metales pesados como cadmio y plomo en la capa superficial, además se determinó el contenido de estos metales en los diferentes tejidos de las plantas. Realizaron un inventario de pasturas de la región en función de la distancia (5000 m) al foco emisor contaminante, tomando así muestras próximas a una refinera, unos pozos de extracción y como testigo el Campus académico de la Universidad de la Paz. Y pudo concluir que los mayores niveles de bioacumulación de metales en los tejidos vegetales se dieron en el siguiente orden: raíz > tallo > hojas y a la profundidad de 5cm. El aporte de esta investigación es el proceso de la bioacumulación del cadmio y plomo en los diferentes tejidos de la planta, observando como es el proceso de absorción a través de la raíz, tallos y hojas visualizando el porcentaje de absorción en cada uno de ellos y teniendo en cuenta la frecuencia de absorción en diferentes plantas que se va a emplear en la tesis ya que el proceso de absorción es similar para todas las plantas.

Cordero (2015) realizó una tesis denominada “Fitorremediación in situ para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados (plomo y cadmio) y evaluación de selenio en la finca furatena alta en el municipio de Útica (Cundinamarca)”. Tuvo como objetivo general evaluar la fitorremediación in-situ como estrategia en la recuperación de suelos contaminados. Para ello se tomaron tres lotes de la finca, a diferentes distancias de una quebrada, en el que se determinó las concentraciones de los contaminantes de plomo, cadmio, cromo, mercurio y selenio, de los suelos por separado para conocer si había diferencia en la concentración de los elementos contaminantes en el suelo de la zona. La fitorremediación de aquellos tres lotes fue mediante el uso de dos especies, *Brachiaria decumbens* y *Megathyrsus maximus*, siendo su porcentaje de germinación el 73% y 70% respectivamente. Los resultados mostraron la disminución de la concentración de metales pesados y a su vez, la disminución de los valores de pH, en los tres lotes. Gracias a este

trabajo se puede observar que el pH es un importante indicador para evaluar la fitorremediación, dado que la inmovilización de metales pesados causa la disminución de pH en el suelo.

Tintin y Moscoso (2013) desarrollaron una investigación sobre la “Capacidad de absorción de la planta de papa *Solanum Tuberosum ssp. Andigena*, en suelo contaminado con plomo”, el cual tuvo como objetivo descontaminar el suelo afectado por sal de Nitrato de Plomo II, empleando papa (*Solanum tuberosum ssp. Andigena*) variedad Superchola. Los tratamientos y repeticiones fueron muestreados cada 7 días hasta llegar al día 91, en el cual se procedió a extraer las muestras y someterlas al espectrofotómetro de absorción atómica para su análisis. Como resultado se obtuvo que la papa superchola tuvo una capacidad de acumular plomo en un 58.45% de toda la planta, además de haber extraído el 48.41% de plomo del suelo; demostrando que el mejor tratamiento fue el que extrajo mayor concentración de plomo, y que a su vez fue el tratamiento que obtuvo menor productividad de papas. Dichos resultados son un punto de partida para el presente proyecto de tesis dado que la papa es uno de los cultivos que se aplicarán en esta investigación para fitorremediar el suelo de Carapongo – Lurigancho Chosica.

2.1.2. Nacionales

Munive (2018) realizó un estudio sobre “Recuperación de suelos degradados por contaminación con metales pesados en el valle del Mantaro mediante compost de Stevia y Fitorremediación”. El objetivo general fue estudiar el efecto de este compost sobre la extracción de los metales pesados. Como metodología, se hizo el trabajo experimental bajo condiciones del Laboratorio de Fertilidad – UNALM con la finalidad de observar la eficiencia de las enmiendas orgánicas, empleando maíz y girasol como plantas fitorremediadoras en el suelo de las localidades de Mantaro y Muqui – Junín, cuyos contenidos en el suelo de plomo y cadmio superan los ECA (Estándares de Calidad Ambiental) de suelos del Perú. Los suelos con mayores contenidos de Pb y Cd en Muqui presentaron efectos negativos en el maíz y el girasol como un menor rendimiento de materia seca de hojas, tallos y raíces, y un desarrollo más lento. Las enmiendas orgánicas contribuyeron a la solubilización del Pb y Cd, obteniéndose que la planta de maíz acumula el 80%, 15% y 5% del plomo en sus raíces, hojas y tallos, respectivamente; en tanto que para cadmio 91%, 6% y 3%, respectivamente. La planta de girasol acumuló 55%, 42%, 5% y 3%

de plomo en sus raíces, hojas, flores y tallos respectivamente; en tanto que para cadmio acumuló 40%, 32%, 8% y 20%. También se observó que el vermicompost de Stevia fue el más efectivo para la fitorremediación ya que favoreció a las plantas que estaban en suelos con altas concentraciones de Pb y Cd. Según los cálculos de Factor de Bioconcentración (FBC) y Factor de Translocación (FT), el maíz y girasol resultaron plantas estabilizadoras. El aporte que da esta investigación, son los factores de bioconcentración y traslocación que se pueden usar para calcular el efecto fitorremediador de los cultivos empleados en la absorción de plomo y cadmio en terrenos agrícolas.

Asencios Márquez (2017) investigó la “Bioacumulación de plomo y cadmio en *Raphanus Sativus* cultivados con compost producido a base de residuos sólidos municipales en Huari, Ancash”, cuyo objetivo fue determinar la bioacumulación de plomo y cadmio en alfalfa, el cual fue cultivado con compost a base de los residuos sólidos municipales del lugar. El enfoque de la investigación fue cuantitativo de alcance correlacional, con diseño pre experimental en el que se trabajó con dos grupos: un grupo testigo y otro al que se le aplicó cuatro tratamientos con una repetición, haciendo un total de 9 unidades experimentales. Como resultados se encontró que el plomo del compost, se mantuvo por debajo de los límites de concentración según el R.D. 865/20, en tanto que las concentraciones de cadmio, superaron los límites de concentración. Las concentraciones de plomo y cadmio en la alfalfa también superan los niveles máximos de concentración según la UE, concluyéndose que estos metales son acumulados por la alfalfa y que pueden afectar la salud de los seres vivos del entorno, cuando sean incorporados a la cadena trófica. De dicha investigación se resalta la importancia de identificar a tiempo las altas concentraciones de metales pesados como el plomo y cadmio, con fines de preservar la salud de la comunidad que consume alimentos cultivados en campos contaminados.

Giraldez (2019) en su investigación “Evaluación de la capacidad fitoextractora de la alfalfa (*Medicago Sativa*) en la remediación de suelos degradados por fertilización sintética en la E.E.A El Mantaro”, tuvo como objetivo determinar la capacidad de la alfalfa para remediar suelos degradados. Para ello se instalaron tres parcelas de alfalfa de densidades baja, media y alta, a las que se tomó muestras de suelo antes de la siembra y después de la cosecha. Los resultados indicaron que la alfalfa logró extraer metales pesados del suelo en cantidades significativas; en la parcela 1 se extrajo cadmio (25.92%), níquel (23.78%) y plomo (20.65%); en la parcela 2, cadmio (11.56%), níquel (13.03%) y plomo (5.49%); y en la parcela 3, cadmio (34.03%), níquel (16.11%) y plomo (25.93%). En cuanto al factor de

bioacumulación, se tiene que el valor de las tres parcelas es menor a 1 (P1: Cd 0.30, Ni 0.20, Pb 0.19; P2: Cd 0.10, Ni 0.07, Pb 0.05; P3: Cd 0.27, Ni 0.13, Pb 0.24), concluyendo que la alfalfa se comporta como una planta oclusora y estabilizadora de los metales pesados en sus raíces dado que no traslada eficazmente los metales pesados de la raíz a la parte aérea de la planta. De esta investigación, se resalta entonces, que la alfalfa tiene el potencial de fitoestabilizar los metales en sus raíces.

2.1.3 Locales

Amones y Barja (2019) en su tesis titulada “Capacidad de acumulación de plomo de las especies adventicias *Amaranthus quitensis*, *Chenopodium ambrosioides* y *Tagetes minuta* en diferentes tipos de suelos en Carapongo, del distrito de Lurigancho-Chosica, Lima”, indican que existe una directa interacción sobre el tipo de suelo y el tipo de planta con respecto a las concentraciones de plomo después del tratamiento. Además, las plantas aptas para hacer este proceso tienen la particularidad como es un buen desarrollo de biomasa, buena tolerancia y capacidad acumulativa en las partes cosechables de la planta, están definidas por la genética de la especie y reciben influencia directa del lugar donde se desarrollan. Este proceso de fitorremediación depende de la capacidad de la planta de resistir, sobrellevar, sobrevivir en suelos con altos niveles de metales en el suelo (Bayón Sanz, 2015 como se citó en Amones y Barja 2019).

La investigación de Huaytalla y Cruz (2016) tuvo como objetivo evaluar la eficiencia del Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente (UASB) a escala piloto, en el tratamiento de aguas residuales, provenientes de la Comunidad de Carapongo-Lurigancho, Chosica, donde menciona que el tratamiento de aguas residuales es necesario. Esto consiste en la eliminación de la materia en suspensión, tales como microorganismos patógenos, hongos, metales pesados y otros tipos de contaminantes que se encuentran en estos cuerpos de aguas

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Metales pesados

Un metal pesado es cualquier elemento químico metálico que tenga una alta densidad relativa y que sea tóxico o venenoso en concentraciones incluso muy bajas. Entre estos se consideran al mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl), y plomo (Pb), entre otros. Los metales pesados, vienen a ser una familia de elementos químicos con una densidad mayor de 4 g/cm³ a 7 g/cm³. Incluyen As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y

Zn; y los metales pesados sin función biológica conocida que son muy tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Principalmente Cd, Hg, Pb, Cu, Ni, Sb y Bi (Lucho-Constantino et al., 2005).

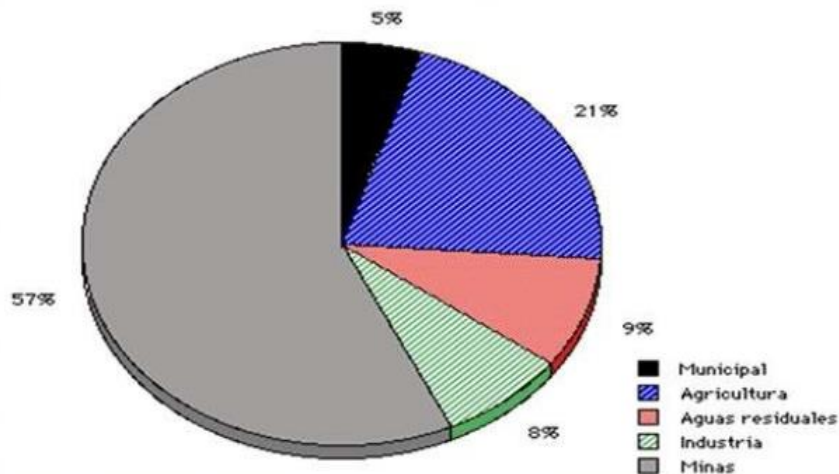


Figura 1. Porcentajes de la contaminación de suelos por metales pesados

Fuente: García y Dorronsoro, s.f.

2.2.2. Influencia en los ciclos biológicos y geoquímicos

Las agrupaciones de metales pesados en los suelos son asociadas a los ciclos biológicos y geoquímicos que pueden alterarse por las prácticas agrícolas, el transporte, las actividades industriales, la eliminación de residuos, entre otras. Por otra parte, se conoce que los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse en los seres vivos (Cordero, 2015). Según Galán y Romero (2008) la presencia de concentraciones nocivas de algunos elementos químicos y compuestos, pueden generarse por una degradación geogénica de la propia roca madre en la que se formó el suelo, del lixiviado de mineralizaciones o actividad volcánica. También abarca los elementos químicos de efecto antropogénico que presentan la distribución de metales en los suelos, agua y sedimentos fluviales. Las movi­lidades de estos elementos en el medio contaminan y tienen una posible dispersión geoquímica. En parte la dispersión los metales permiten analizar las diferentes anomalías geoquímicas desde la parte de menor y mayor concentración del metal. (Peralta 2018). Por su parte, Calcedo y Babativa (2018) menciona que “la presencia de estas sustancias en los sistemas acuáticos está asociadas naturalmente a los ciclos biológicos y geoquímicos, no obstante, la concentración es alterada por la intervención antrópica producido por el desarrollo de actividades productivas como la industria minera, petrolera, entre otras”.

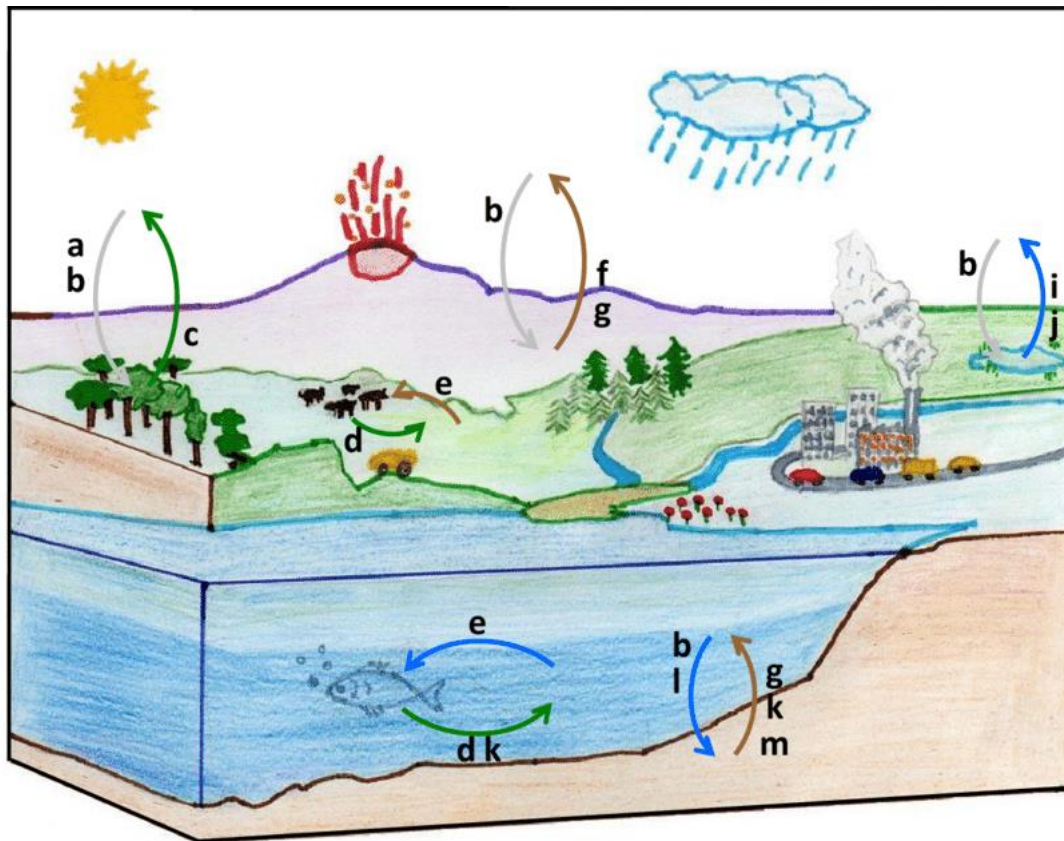


Figura 2. Ciclo biogeoquímico del plomo. a: inhalación; b: precipitación / deposición; c: evapotranspiración; d: degradación; e: absorción / adsorción f: actividad volcánica; g: desgaste mecánico (erosión, meteorización); i: evaporación; j: aerosol k: disolución; l: mineralización; m: lixiviación.

Fuente: Alberich et al., 2008.

2.2.3. Efectos de los metales pesados en los suelos y salud pública

2.2.3.1. Plomo

El movimiento de los metales pesados en el suelo se debe principalmente por el contenido de materia orgánica y textura, el pH, presencia de iones, el potencial redox, capacidad de intercambio catiónico, entre otras. La acidificación, variación en la temperatura y humedad de los suelos, y cambios en las condiciones redox son efectos de la contaminación del suelo por metales (Cordero, 2015). Por ejemplo, en el caso del maíz y el frijol, se tiene que el plomo afecta en la cantidad de masa fresca producida (Figura 3).

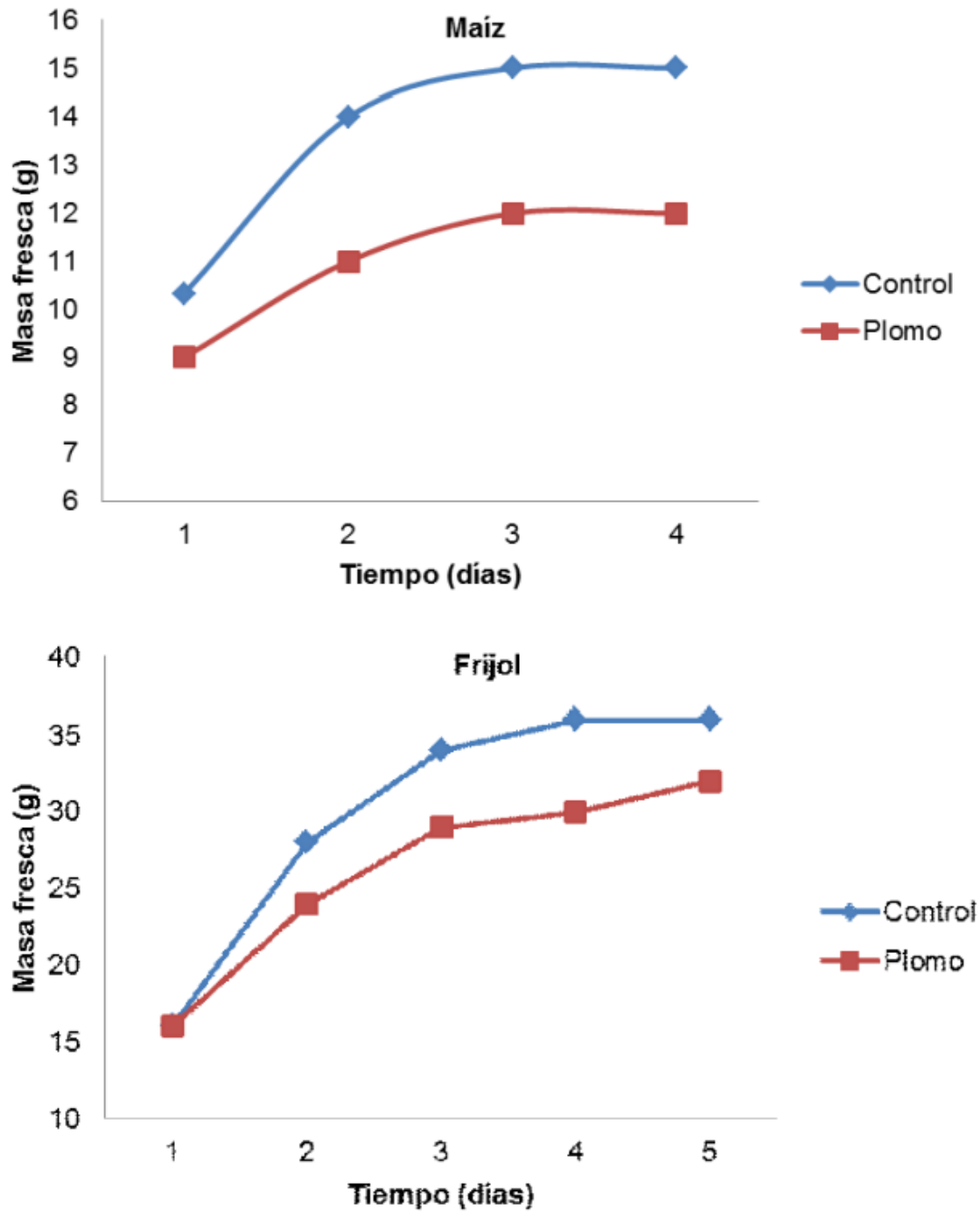


Figura 3. Dinámica del proceso de inhibición de semilla de maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) tratados con solución de nitrato de plomo (5gl^{-1}) ($n=30$).

Fuente: Isaza, 2013.

En el suelo los metales quedan retenidos por procesos de adsorción, de complicación y de precipitación, ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas. Pueden pasar a la atmósfera por volatilización y moverse a las aguas superficiales y subterráneas (Lora y Bonilla, 2010). Algunos metales vitales en procesos metabólicos como el cobalto,

romo, hierro, manganeso y cinc hacen parte de las metaloenzimas, mientras otros no son beneficiosos y no se conocen mecanismos de homeóstasis como el arsénico, cadmio, mercurio y plomo. La insuficiencia o la abundancia de un oligoelemento, puede influenciar la absorción, distribución, metabolismo y eliminación de otros, en los seres humano (Hernández et al., 2014).

2.2.3.1.1. Origen

Según Tintín y Moscoso (2013) el plomo es un metal blando cuyas aplicaciones industriales se encuentran en productos metálicos, cable, tubería pinturas y tuberías: siendo reconocido su efecto toxico sobre la salud humana. En el hombre y animales es absorbido por las vías respiratorias y digestivas, esta sustancia se deposita en el pulmón, riñón, hígado, páncreas y tiroides además se presenta efectos negativos en la salud como son la disminución en la fertilidad de mamíferos, enfermedades cardiovasculares y cáncer; adicionalmente estos pueden acumularse en el suelo. Es uno de los elementos más críticos que afecta e ingresa al suelo agrícola por la deposición de partículas transportadas por el viento, el contacto y el riego con aguas residuales industriales o aguas que contengan fracciones de plomo, además la escorrentía proveniente de hacinamientos minerales. (Cordero, 2015)

2.2.3.1.2. Acoplamiento del plomo con sustancias húmicas

El suelo con plomo tiene una gran afinidad con las materias húmicas y el pH, depende de estos para fijarse, pero no es asimilado en grandes cantidades por las plantas debido a que es casi inmóvil lo cual hace que permanezca en los horizontes superiores. La actividad anómala biológica de las superficies edáficas inhibiendo procesos microbianos y almacenándose en la microflora, flora y fauna edáfica, se dan por la acumulación de Pb en la superficie (Acosta de Armas y Montilla Peña, 2011).

Por otra parte, la escuela alemana de Flaiges indica que la lignina forma parte de la materia prima originaria del humus y mantiene la teoría que las sustancias húmicas son el resultado de una secuencia en la degradación y delimitación de la lignina a polifenoles sustituidos precedida de la oxidación a quinonas y su condensación con unidades aminoácidos (Blayus y Garcia, 2003 como se citó en Carrera, 2017). Además, “estas sustancias húmicas pueden fijar químicos y pueden actuar como vehículo para su movilización, transporte e inmovilización” (Carrera, 2017). Incluso una de las fracciones más importantes de la materia orgánica en sedimentos y aguas superficiales son las sustancias húmicas donde estas

cumplen un papel importante en atrapar y acumular los metales traza en suelos y sedimentos, tiene efectos en la unión de los metales a la materia orgánica disuelta, al compleja los iones metálicos estas sustancias húmicas influyen en su disponibilidad y geoquímica (Bargiela, 2015).

Por ello, la utilización de materia orgánica está sobradamente justificada. Pero, desde el punto de vista de las plantas, conviene distinguir entre los efectos indirectos y directos de las sustancias húmicas. Céspedes y Millas (2018) menciona que la materia orgánica del suelo juega un rol fundamental en la fertilidad integral del suelo ya que afecta sus características químicas, físicas y biológicas mejorando: la disponibilidad de los nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico y su estructura, lo cual aumenta su capacidad de aireación, retención de humedad y drenaje, además de su actividad biológica.

2.2.3.1.3. Contaminación y mecanismos de tolerancia

El Pb al no ser un elemento esencial para el metabolismo de las plantas, las concentraciones superiores a 5 ppm indicarían contaminación de las mismas, teniéndose efectos a concentraciones superiores a 30 ppm en los tallos y hojas. (Rábago, 2011).

En las plantas, en las altas concentraciones de metales pesados inhiben la germinación de la semilla, el crecimiento del desarrollo, además de alterar muchos procesos bioquímicos y fisiológicos, su presencia daña las membranas de las células, reduce la transpiración, impide la síntesis de proteínas, daña e inhibe las fotosíntesis y afecta la actividad de varias enzimas.

Además, el efecto de los metales su germinación depende de la penetración a través de la cubierta de las semillas, lo cual puede alterar una serie de procesos fisiológicos involucrados en la germinación (Tintin & Moscoso, 2013).

Las respuestas celulares al estrés tóxico son la tolerancia por exclusión y tolerancia por acumulación. La primera consiste en mantener niveles bajos del metal en el suelo hasta que la concentración alcanza el nivel crítico, a partir del que ya no puede ser mantenido y produce toxicidad. La segunda consiste en concentrar el metal dentro de los tejidos vegetales, en el que se desarrollan procesos fisiológicos altamente especializados (Tintin & Moscoso, 2013).

2.2.3.1.4. Efectos en la salud poblacional

El plomo genera consecuencias en la salud si el grado de exposición es elevado, ataca al cerebro y al sistema nervioso central e incluso produce la muerte. En niños que sobreviven a una intoxicación grave pueden padecer diversas secuelas, como retraso mental o trastornos

del comportamiento. Se ha comprobado además que en niveles de exposición más débiles sin síntomas evidentes el plomo puede provocar alteraciones muy diversas en varios sistemas del organismo humano. En los niños puede afectar, en particular, al desarrollo del cerebro, lo que a su vez entraña una reducción del cociente intelectual, cambios de comportamiento, por ejemplo, disminución de la capacidad de concentración y aumento de las conductas antisociales y un menor rendimiento escolar. La exposición al plomo también puede causar anemia, hipertensión, disfunción renal, inmunotoxicidad y toxicidad reproductiva. Se cree que los efectos neurológicos y conductuales asociados al plomo son irreversibles (OMS, 2019). El plomo es el motivo por el cual el feto en la madre gestante tiene problemas en el sistema nervioso central. El plomo puede ocasionar daños al cerebro y a los nervios periférico en el neonato. En general el plomo perjudica el riñón, el hígado, el sistema reproductivo también afecta en procesos básicos de funcionamiento celular funcional del cerebro (Martínez y Palacio, 2010).

2.2.3.2. Fitorremediación

La fitorremediación es una metodología dentro de la biorremediación que consiste en el uso de especies vegetales que permiten la remoción de contaminantes y que se caracteriza por ser económica, no compleja y limpia, ya que no afecta la estructura del suelo, ni utiliza reactivos químicos. La aplicación de esta técnica se basa en prácticas agronómicas comunes que buscan acercarse al estado óptimo del suelo y su capacidad de realizar sus funciones de la mejor manera. Esta estrategia presenta las ventajas de que se pueden realizar in situ, en donde actúan positivamente sobre el suelo, mejorando sus propiedades físicas y químicas. (Carpena & Bernal, 2007)

La fitorremediación implica que las plantas metabolicen compuestos orgánicos a través de tres pasos secuenciales. El primer paso es la oxidación, reducción e hidrólisis de los compuestos orgánicos lipofílicos, el segundo es la conjugación de los metabolitos producidos en la primera fase, a una molécula hidrofílica endógena como los azúcares, aminoácidos y glutatona. En el último paso se produce una compartimentalización de los compuestos orgánicos modificados en las vacuolas o formación de enlaces con la lignina y hemicelulosa, componentes de la pared celular (Delgadillo-López et al., 2011).

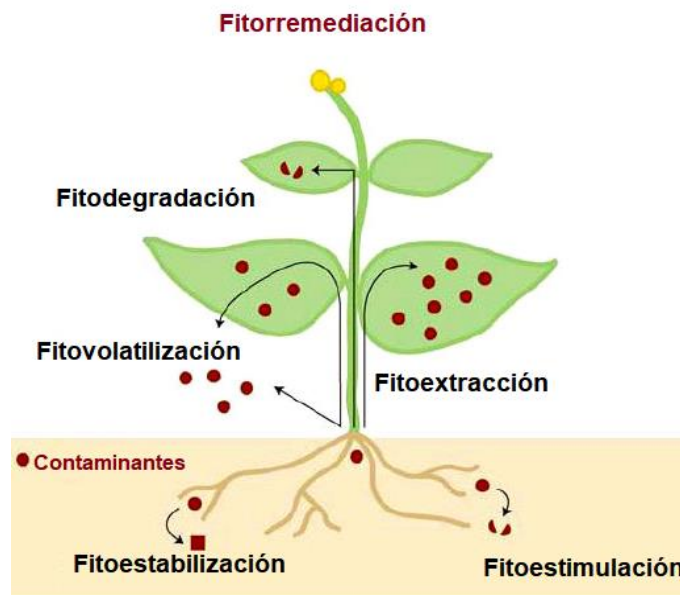


Figura 4. Proceso de absorción del plomo en la planta

Fuente: Medina y Montano, 2014.

2.2.3.2.1. Efectos Fisiológicos

La fitotoxicidad por plomo ocasiona alteraciones en las actividades fisiológicas normales de la planta hasta mutar las células a altas concentraciones, los principales procesos fisiológicos son:

- ✓ Actividad enzimática
- ✓ Nutrición mineral
- ✓ Potencial hídrico
- ✓ Estatus hormonal
- ✓ Estructura de la membrana

- ✓ Transporte de electrones

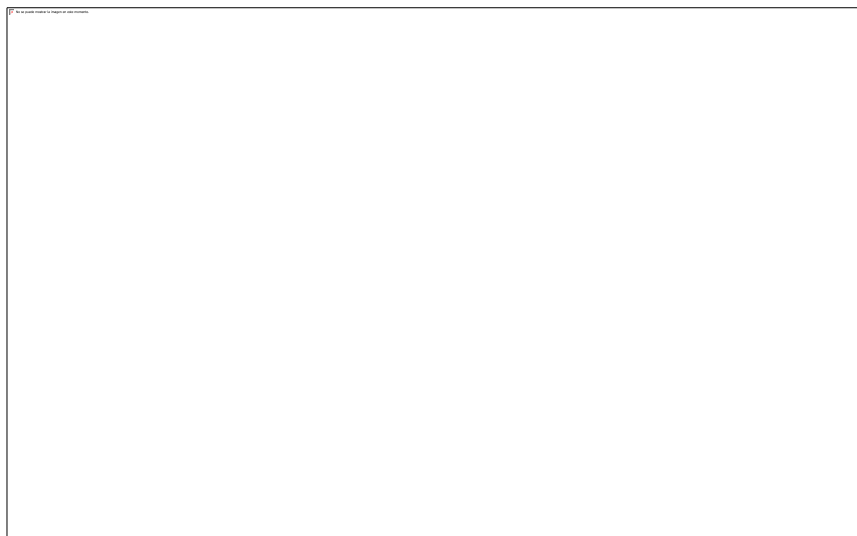


Figura 5. Principales procesos fisiológicos

Fuente: Agtech América, 2019.

Se dice que el proceso de fotosíntesis es alterado en los cloroplastos por la toxicidad del plomo, causando de esta manera innumerables efectos adversos:

- ✓ Disminución de la tasa fotosintética
- ✓ Distorsión de la ultra-estructura del cloroplasto
- ✓ Restricción de síntesis de clorofila, plastoquina y carotenoides
- ✓ Obstrucción del transporte de electrones,
- ✓ Inhibición de las actividades enzimáticas
- ✓ Deficiencia del CO₂ como consecuencia de un cierre estomático

En altas concentraciones de plomo en el suelo causan desequilibrio en las proporciones de nutrientes minerales dentro de tejidos de las plantas en crecimiento

Tanto el contenido de plomo en la punta como en la base de la raíz pueden parecer similares, el plomo altera los niveles de elementos minerales dentro de los mismos (Fernández, 2013)

2.2.3.2.2. Interacción de la planta frente al metal

Las adaptaciones específicas de las plantas al estrés por metales se basan en mecanismos de resistencia que reducen su entrada en la planta o que una vez absorbidos permiten su almacenamiento en lugares no perjudiciales para las células, inicialmente se manifiesta los

mecanismos de prevención o evasión, que permiten mantener una baja concentración de metal en el citoplasma como:

La habilidad de las plantas para absorber los metales pesados varía considerablemente, dependiendo de la especie, época, estado de desarrollo, forma química, solubilidad del metal en el suelo y su tolerancia frente al metal.

- La exudación de sustancias hacia la rizósfera.
- La inmovilización en el apoplasto.
- La secreción foliar.
- La volatilización.
- El flujo.

La absorción de metales puede disminuir por unión a ácidos orgánicos exudados al suelo por los ápices radiculares o por los localizados en las paredes celulares, así como por las restricciones de su transporte a través de la membrana plásmica (Vargas, 2006).

También, la interacción de las plantas con los metales en suelo es una alternativa de solución para limpiar los suelos de los metales tóxicos donde se emplea la técnica de fitorremediación con distintas especies de plantas. además, se ha hecho investigaciones que algunas especies de plantas pueden tolerar concentraciones altas de metales pesados (Peralta et al, 2000 como se citó en Giraldez,2019). Además, Bernal y Boshell (2014) manifiestan que “algunas especies de alfalfa son utilizadas como una especie vegetal bioacumuladora y uno de los principales metales que acumula la alfalfa es el plomo que se encuentra en los suelos contaminados por residuos industriales y de minería”. Al utilizar las especies vegetales acumuladoras de metales pesados, se logra descontaminar el suelo de metales pesados. Los diferentes niveles de concentración de metales pesados son acumulados en primer lugar por la raíz ya que es la parte de la planta que probablemente es un órgano especializado en la absorción, además de ser el primero en estar expuesto a la sustancia contaminante (Giraldez ,2019).

Las plantas que han desarrollado mecanismos específicos para absorber y acumular los metales pesados. Tienen un comportamiento electroquímico similar a la absorción de nutrientes, y la absorción es el primer paso de su entrada en la cadena alimentaria (Llanos, 2017). La absorción y posterior acumulación dependen del paso de los metales por las membranas de las células corticales de la raíz hacia las células de la xilema desde donde la solución con metales se transporta de la raíz a los tallos y se da la posible movilización de

los metales desde las hojas hacia tejidos de almacenamiento usados como alimento (semillas, tubérculos y frutos) por el floema (Boletín Electrónico Informativo sobre productos y residuos químicos, 2008). Por otro lado, Munive (2018) manifiesta en su investigación que la raíz de la planta es donde presenta los mayores valores de acumulación del plomo esto es por el fenómeno de absorción de flujo de masas siendo en las raíces 93%, hojas 5% y tallos 2%, demostrando así que el proceso de absorción y de entrada de metales es principalmente por vía simplástica de la raíz, pasando hacia el tallo y los tejidos xilemáticos hasta llegar a la hoja, donde puede regresar a la raíz vía floema. Además, Falcón (2017) menciona que “la acumulación en las raíces, tallos, hojas, flores, envoltura y semillas son óptimas en la descontaminación de metales pesados que se encuentran en el suelo”, además algunas plantas son excluyentes a algunos metales pesados ya que tienen el factor de bioconcentración menores.

La acumulación del plomo en la planta inicia con el proceso de movilización en el suelo, seguidamente empieza el proceso de absorción adhiriéndose el plomo en la raíz de la planta, se traslada al proceso de transposición en esta fase el metal ocasiona que sufra una alteración en su genoma, al finalizar se trasporta a la última fase que es la distribución.

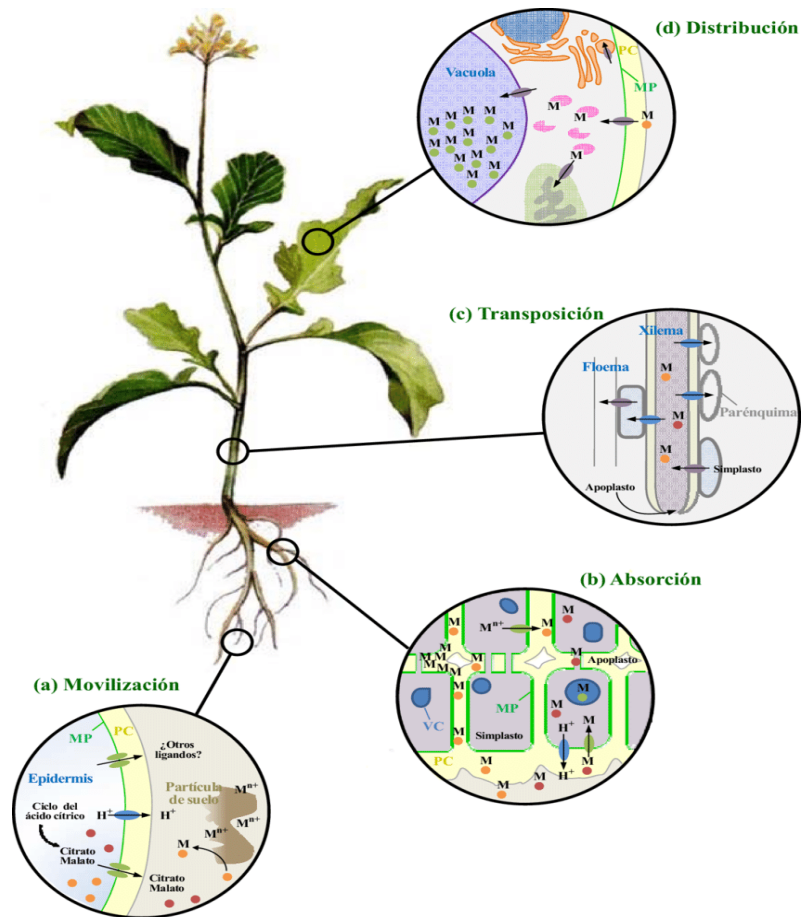


Figura 6. Etapas y mecanismos de acumulación.

Fuente: Alberich et al., 2008

2.2.3.2.4. Agua de riego

Según Vargas (2017) es necesario determinar los niveles de contaminación actual por metales pesados que afectan directamente a los suelos donde se hace el uso de riego para sus cultivos ya sea, pastos naturales, pastos cultivados como alfalfa, trébol y forrajes entre otros. Esto puede generar un serio problema, transmitiéndose en la cadena alimenticia y causar problemas a los habitantes del área de estudio. Además, “la concentración de metales pesados en suelos con riego y sin riego es muy variado esto dependiendo al tipo de suelo y la calidad de agua de riego, este último es que influye mucho en la contaminación de los suelos con riego”.

2.2.3.3. Alfalfa (*Medicago sativa*)

2.2.3.3.1. Definición

Es una planta perenne que pertenece a la familia de las leguminosas, considerada importante entre las especies forrajeras para heno y pastos. Tiene un gran sistema radicular, con una raíz

principal robusta y muchas raíces secundarias. La raíz principal alcanza profundidades de 2 a 5 m. las hojas normales son trifoliadas, las flores principalmente de color violáceo o azul pueden medir de 8 a 10 mm de longitud (Bonilla, 2013).

La alfalfa pertenece a la familia Amaranthaceae y tiene su origen en América tropical y subtropical. Tiene unos 30 a 80 cm de largo y una inflorescencia en forma de espiga. Tiene tallos con poca velloidad; hojas ovales, flores con 5 tépalos, ramos laterales a lo largo de su longitud; la mayoría agudos; frutos de longitud similar a la de los sépalos. Se pueden encontrar en sembríos y al costado de caminos, principalmente en ambientes de regadío extendido por las regiones templadas. (Llanos, 2017)



Figura 7. Planta de alfalfa en floración

Fuente: Pombosa, 2016.

2.2.3.3.2. Propiedades

Se caracteriza por fijar nitrógeno y fósforo en el suelo, es tolerante a bajas temperaturas de 10 y 15 °C bajo cero y temperaturas medias anuales de 15°C, es una planta tolerante a la sequía, pero muy susceptible a excesos de agua y a suelos ácidos por debajo de 6,4 (Bonilla Valencia, 2013). La alfalfa es una de las fuentes alimentarias más ricas de la naturaleza; alimento completo que contiene vitaminas A, E, B6, K y D; minerales, como calcio, hierro, potasio, fósforo, cloro, sodio, silicio y magnesio; fibra y enzimas. Por su alto contenido en vitamina D, calcio y fósforo, resulta beneficioso para fortalecer los huesos y dientes y tiene propiedades contra la anemia, por el buen contenido de hierro. Contiene ocho enzimas esenciales para el organismo; como la lipasa, hidroliza las grasas; la amilasa, actúa sobre los

almidones; la coagulasa, coagula la leche y la sangre; la emulsina, actúa sobre los azúcares; la invertasa, convierte la sacarosa en dextrosa; peroxidasa, tiene efecto oxidante sobre la sangre; la pectinasa, forma una jalea a partir de sustancias pécticas y la proteasa, que digiere las proteínas (MINAGRI, 2018).

COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)								
Humedad	Cenizas	PB	EE	Grasa verd. (%EE)				
9.9	10.6	17.4	2.7	50				
Σ=82.5	FB	FND	FAD	LAD	Almidón	Azúcares		
	24.5	38.0	28.6	7.6	0.5	3.4		
Ácidos grasos	C _{14:0}	C _{16:0}	C _{16:1}	C _{18:0}	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}	C _{≥20}
% Grasa verd.	1.5	27.0	1.0	3.5	8.5	22.0	33.0	5.5
% Alimento	0.02	0.36	0.01	0.05	0.11	0.30	0.45	0.07
Macrominerales (%)								
Ca	P	Pfítico	Pdisp.	Pdig. Av	Pdig. Porc			
1.70	0.26	0.01	0.25	0.22	0.15			
Na	Cl	Mg	K	S				
0.12	0.45	0.21	2.35	0.25				
Microminerales y vitaminas (mg/Kg)								
Cu	Fe	Mn	Zn	Vit. E	Biotina	Colina		
8	300	40	20	120	0.32	1500		

Figura 8. Valor nutricional de la alfalfa

Fuente: FEDNA, S.f.

2.2.3.4. Papa (*Solanum Tuberosum* ssp. *Andigena*) variedad “sumac sonco”

2.2.3.4.1. Definición

La papa (*Solanum tuberosum*) es una planta herbácea anual que generalmente alcanza un metro de altura. Produce un tubérculo que posee abundante contenido de almidón, haciéndolo el alimento más importante a nivel mundial después del maíz, el trigo y el arroz. La papa se divide en dos subespecies apenas diferentes: la Andigena, adaptada a condiciones de días cortos, cultivada principalmente en los Andes, y Tuberosum, la variedad que hoy se

cultiva en todo el mundo y se cree desciende de una pequeña introducción en Europa de papas indígenas, posteriormente adaptadas a días más prolongados. (FAO, 2008)

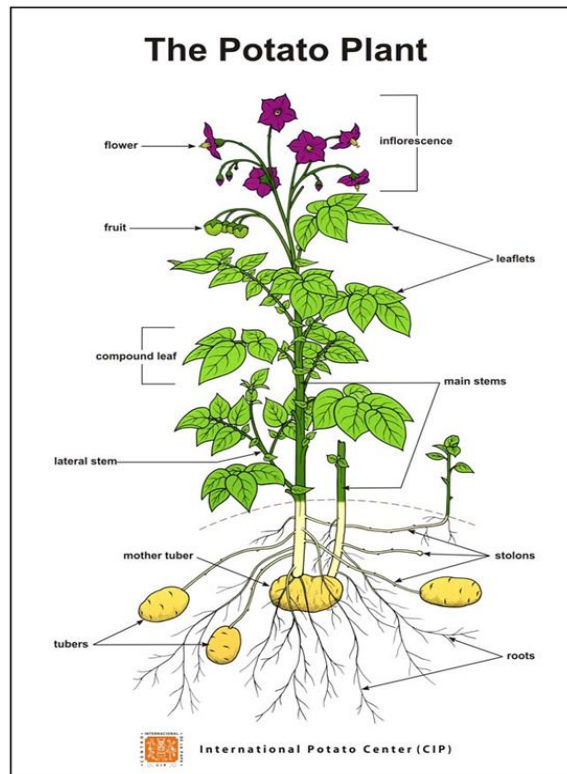


Figura 9. Partes de la planta de papa

Fuente: Centro Internacional de la papa, S.f.

2.2.3.4.2. Propiedades

La papa es un tubérculo de consumo popular adaptado a diferentes suelos y condiciones climáticas en Perú, teniendo mejor rendimiento en suelos franco arenosos, profundos y bien drenados con un rango de pH entre 5,5 y 8,0. El Perú es el país que cuenta con la mayor diversidad de papas en el mundo ya que ha logrado domesticar 8 especies nativas, tiene 2301 especies de más de 4000 variedades existentes en todo Latinoamérica y 91 de las 200 especies silvestres en el continente americano. El cultivo de la papa es tan importante en el Perú que representa el 25% del PBI agropecuario, ya que es la base de alimentación de zona andina y es producido por 600 mil pequeñas unidades agrarias. Es rica en almidón, potasio y vitamina C; en 100 gramos; 78 gr. Es de humedad; 18,5 gr. Es de almidón, 560 mg de potasio y 20 mg de vitamina C. (MINAGRI, 2020).

Procesos físicos y/químico de la bondad de estas plántulas para tener la capacidad de absorber los metales

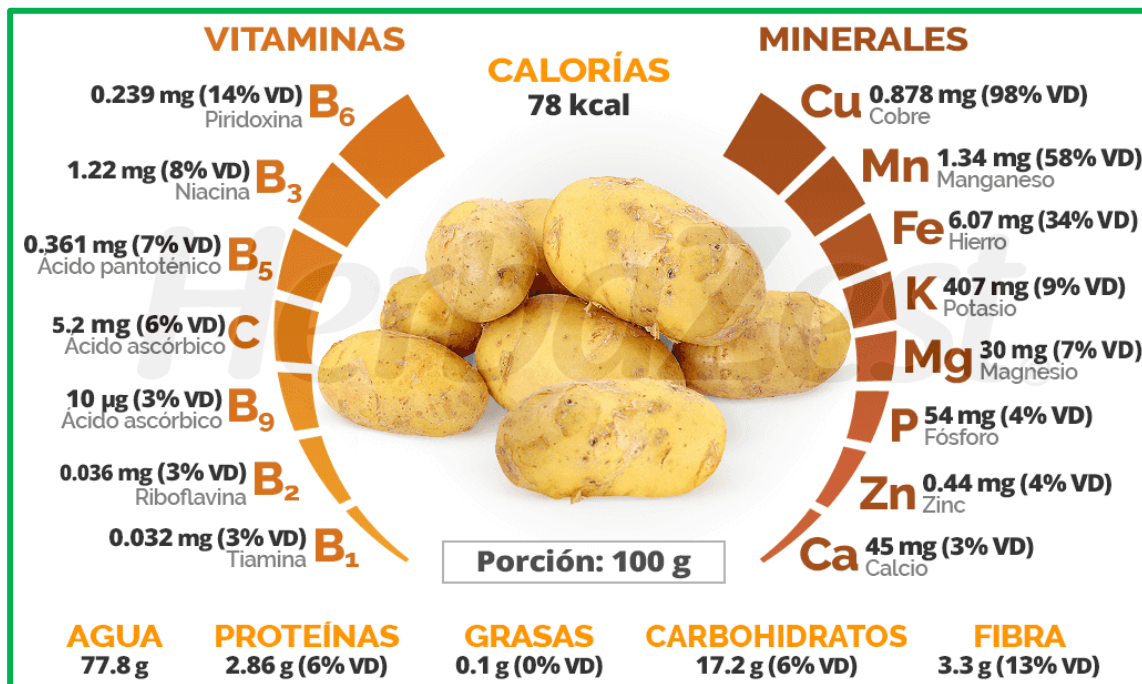


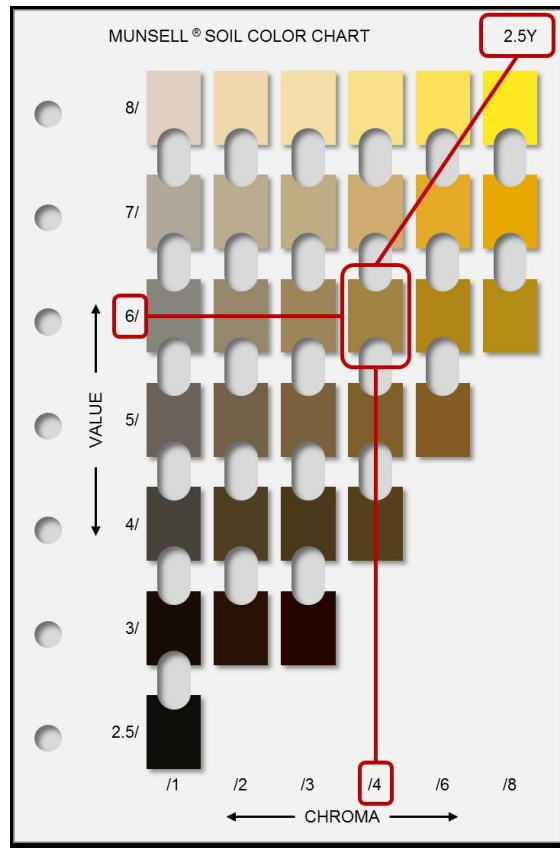
Figura 10. Información nutricional de la papa

Fuente: Herbazest, s.f.

2.2.3.5. Características fisicoquímicas del suelo

2.2.3.5.1. Color del suelo

El color de los suelos guarda una estrecha relación con los componentes sólidos (materia orgánica, textura, composición mineralógica, morfología); siendo los metales de transición, principalmente, los que pueden dotar a los suelos esta característica particular. Las tablas de color del sistema de notación de Munsell incluyen todos los matices del rango visible del espectro electromagnético, en suelos se utiliza sólo alrededor de la quinta parte del rango total de matices (Domínguez, 2012).



2.2.3.5.2. Textura

La textura del suelo es una de las características físicas más importantes, pues a través de ella, se puede predecir el comportamiento físico del suelo, haciendo inferencias acerca del movimiento del agua en el perfil, la facilidad de manejo y la cantidad de nutrientes (Gómez, 2013).

2.2.3.5.3. PH

El pH es un indicador de la concentración de iones de hidrógeno en suelo. El suelo será ácido si tiene alta concentración de estos iones, y será básico si tiene poca concentración de H⁺. Según, Rivera et al (2018), el pH se pueden medir tanto en sustancias líquidas ya sean en cítricos y también en el suelo que posee un nivel de acidez, y de acuerdo a este es que los micronutrientes o macronutrientes se concentran en ellos, los cuales son indispensables para el desarrollo de las plantas. Ya que, existen diferentes tipos de suelo y cada uno de ellos se diferencian por sus propias características, lo que creará o no las condiciones necesarias para el desarrollo de las plantas. El pH del suelo, también es conocido como acidez del suelo, se puede expresar usando la escala de pH que va desde 0 hasta 14.

2.2.3.6. Marco legal

2.2.3.6.1. Constitución Política

Art. 2 A la paz a la tranquilidad al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.

2.2.3.6.2. Ley general del ambiente

Ley N° 28611: Ley general del ambiente Todo titular de operaciones es responsable por las emisiones, efluentes, descargas y demás impactos negativos que se generen sobre el ambiente la salud y recursos naturales como consecuencias de sus actividades. Esta responsabilidad incluye los riesgos y daños ambientales.

2.2.3.6.3. Estándar de Calidad Ambiental Suelo (ECA)

Decreto Supremo N° 011-2017: En el artículo 31; Los estándares de calidad Ambiental, define “la medida que establece el nivel de concentración o el grado de elementos físicos, químicos y biológicos, sustancias o parámetros presentes en el aire, el agua o el suelo como órgano receptor, que no representa un riesgo significativo para la salud humana ni el medio ambiente”. (MINAM, 2017).

Tabla 1. Concentración de plomo según uso del suelo

Parámetros	Uso de suelo			Método de ensayo
	Suelo agrícola	Suelo Residencial/ Parque	Suelo comercial/ Extractiva	
Inorgánicos				
Plomo Total (mg/kg MS)	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051

Fuente: D.S 011-2017 MINAM.

2.2.3.6.4. Estándar de Calidad Ambiental Agua (ECA)

Decreto Supremo N° 004-2017: En el artículo 31; Los estándares de calidad Ambiental, define “la medida que establece el nivel de concentración o el grado de elementos físicos, químicos y biológicos, sustancias o parámetros presentes en el aire, el agua o el suelo como

órgano receptor, que no representa un riesgo significativo para la salud humana ni el medio ambiente” (MINAM, 2017).

Tabla 2. Concentración de plomo en el agua

Parámetros	Uso del agua			Método de ensayo
	A1 Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	A2 Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	A3 Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	
Fisicoquímico				
pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0	-
Color	15	100 (a)	**	-
Conductividad	1 500	1 600	**	-
Inorgánico				
Plomo total (mg/kg MS)	70	140	800	EPA 3050 EPA 3050

Fuente: D.S 011-2017 MINAM.

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODO

3.1. Diseño de la investigación

La investigación desarrollada es de tipo experimental dado que la variable principal, concentración de plomo en el suelo, se sometió a la prueba de fitorremediación por papa y alfalfa por un período de tiempo, después del cual, se observaron los cambios producidos.

En las investigaciones de diseño experimental, se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos consecuentes), dentro de una situación de control para el investigador (Hernández et al., 2014, p.129).

3.2. Lugar de ejecución del experimento

El experimento se realizó en macetas ubicadas en el mismo lugar de la extracción del suelo para su uso como sustrato en las macetas, en un terreno agrícola de Carapongo, en la zona “Tres Tiendas”. La ubicación exacta del terreno tiene las coordenadas -12.002908, -76.849492; el cual está a 15 minutos de distancia de la Universidad Peruana Unión.

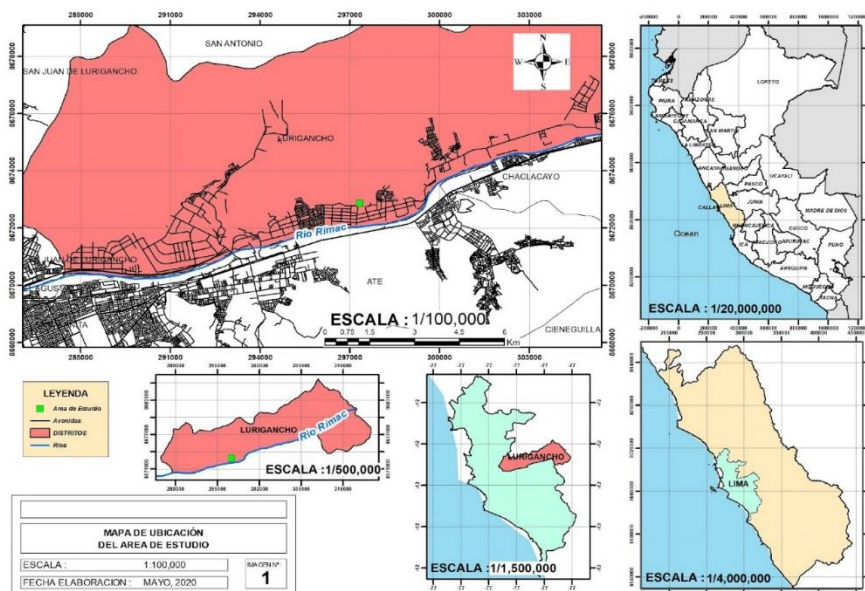


Figura 11. Ubicación del área de estudio

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Características de la parcela experimental

Describir el plano.

Características de la parcela experimental:

Longitud: 6 m

Ancho: 8m

Área total: 48 m²

Área por maceta: 150 cm²

Volumen maceta: cm³

Número de plantas por fila: 8

Número de filas por grupo: 3

Número de grupos: 2



Figura 12. Distribución de maceteros en campo

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Materiales y Equipos

3.4.1 Materiales

- Saca picos
- Pala cuadrada
- Balde grande (contenedor)
- Malla N° 2 mm
- Plástico grueso
- Bolsas de plástico
- 16 maceteros cuadrados de 0.40 m x 0.56 m x 0.45 m
- 8 maceteros rectangulares de 1.25 m x 0.30 m x 0.45 m
- Semillas de alfalfa
- Semillas de papa
- Tarjetas de identificación
- Plumones
- Muestreador de suelos
- Materiales de vidrio

3.4.2 Equipos

- **Ph-metro**

Se hará uso del pH-metro, el cual es un instrumento científico que mide la actividad del ion en soluciones acuosas. El suelo debe estar lo más limpio posible de restos orgánicos; la muestra se debe diluir con un poco de agua destilada para luego proceder con la medición del pH.

3.5. Metodología

3.5.1 Extracción de la premuestra del suelo

La recolección de esta premuestra fue no probabilística, ya que fueron seleccionadas según favorecieron las siguientes condiciones:

- Cercanía del terreno a una fuente cercana de agua natural
- Accesibilidad del lugar para la toma de la premuestra
- Accesibilidad para poder transportarse
- Autorización por parte de los dueños del terreno

Se muestreó un área de $6 \times 8 \text{ m}^2$, donde se tomaron muestras de 8 puntos de manera aleatoria (Figura 12).

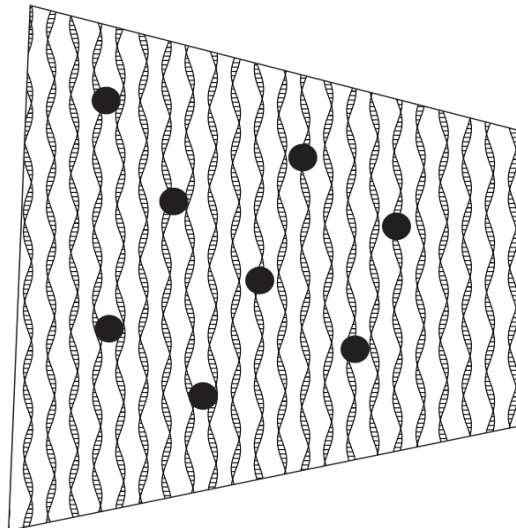


Figura 13. Modelo aleatorio de selección de la premuestra

Fuente: Elaboración propia.

Se tomó una muestra para evaluar el índice de plomo según el procedimiento de la Guía de Muestra de Suelos (MINAM, 2013).

Tabla 3. Profundidad de muestreo según uso del suelo

Usos de suelo	Profundidad del muestreo (capas)
Suelo agrícola	0-30 cm (1) *
	30 – 60 cm (0) **
Suelo Residencial / Parques	0 – 10 cm (2) *
	10 – 30 cm (3) *
Suelo Comercial/ Industria/ Extractivo	0 – 10 cm (2) *

Fuente: Guía para el muestreo de suelos MINAM (2013).

*número de premuestras, según uso del suelo, a las profundidades establecidas.

**no se realizó el muestreo porque a esta profundidad la concentración de plomo es despreciable.

3.5.2. Preparación de muestras y materiales

La extracción de la premuestra se realizó haciendo un corte al suelo en forma de “V” de 35 cm de profundidad, con la ayuda de una pala recta. Todas las premuestras se vertieron en un solo contenedor de plástico para mezclarlos y homogenizarlos. Luego, esta mezcla fue colocada sobre un plástico para que seque a la intemperie. De ello, se seleccionó una cuarta parte aplicando el método del cuarteo y se tamizó con un tamizador N° 2 mm. Luego, se volvió a seleccionar la cuarta parte de lo extraído y finalmente se seleccionó solo 2 Kg. Finalmente, se dividió cada kilogramo en una bolsa hermética individual.

3.5.3. Seguridad en el trabajo

Se contó con equipos de protección individual (EPI) frecuentemente usados en la recuperación de suelos contaminados a escala local. Para la protección de los ojos, se usarán unas gafas de montura universal y guantes contra agresiones químicas cada vez que manos y ojos puedan entrar en contacto directo con partículas de suelo húmedo o seco (Extracción de la premuestra de suelo).

3.5.4. Medición de Parámetros de Campo

Se procedió a medir los parámetros físicos de campo como color de la muestra de suelo y la textura.

- Suelo

En la identificación de las tablas de color se usó mediante el sistema de notación de Munsell. En la premuestra se tuvo un suelo Franco por su mayor capacidad productiva, ya que presenta en mayor porcentaje la arena, arcilla y limo que son idóneas para el cultivo. Además, el suelo

presentó materia orgánica de 3.1, la C.E fue de 1.75 y con una concentración de 207.25 de Pb.

- Textura

Se determinó la textura del suelo en la presente investigación usando el método de Bouyoucos. (Gómez, 2013). Cuya clasificación por tamaño se divide en 3 principalmente, arena, limo y arcilla donde se encontró en la premuestra un 52%, 28% y 21% respectivamente.

- pH

Se hizo uso del pH-metro, el cual es un instrumento científico que mide la actividad del ión en soluciones acuosas. Para ello el suelo debe estar lo más limpio posible de restos orgánicos; la muestra se debe diluir con un poco de agua destilada para luego proceder con la medición del pH. Donde en la premuestra resulto 8.2 que está en el rango de alcalinidad.

3.5.5. Composición y análisis del suelo

El suelo extraído de los terrenos agrícolas de Carapongo, Lima, indican un pH ligeramente alcalino, una concentración de materia orgánica de 3,1%, evidenciando que es un suelo fértil, una conductividad eléctrica de 1,75 correspondiente a suelo no salino y con textura clasificada como Franco (Anexo III).

3.5.6. Extracción de la muestra de agua de riego

Según los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del Decreto Supremo N° 004-2017 MINAM, el agua de riego presentó una concentración de sulfato, plomo y conductividad eléctrica, por encima del nivel óptimo para evitar efectos perjudiciales ambientales (ANEXO IV).

A continuación, en las siguientes tablas se compara con mayor detalle las diferentes variables con el rango óptimo establecido por el MINAM.

Tabla 4. Comparaciones con las concentraciones establecidas por el ECA (categoría 3, D1)

INDICADORES	CONCENTRACIÓN	ECA (Categoría 3, D1)
pH	3.70 mg/L	6,5 – 8,5
C.E.	2040 (µS/cm)	1600 (µS/cm)
SUMA DE CATIONES		
Nitratos	1.86 mg/L	100 mg/L
Sulfatos	325.92 mg/L	1000 mg/L
Cloruros	66.5 mg/L	500 mg/L
SUMA DE ANIONES		
Boro	0.23 mg/L	1 mg/L
Plomo	0.1829 mg/L	0,05 mg/L

Fuente: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua.

3.5.7. Siembra y riego

Se realizó la siembra directa, a mano, de semillas botánicas de los siguientes cultivos: papa (*Solanum tuberosum* ssp. Andigena) variedad “Sumac sonco” y alfalfa (*Medicago sativa*) variedad “Alto andina- W350”.

En la Figura 14 se detalla la distribución de las macetas

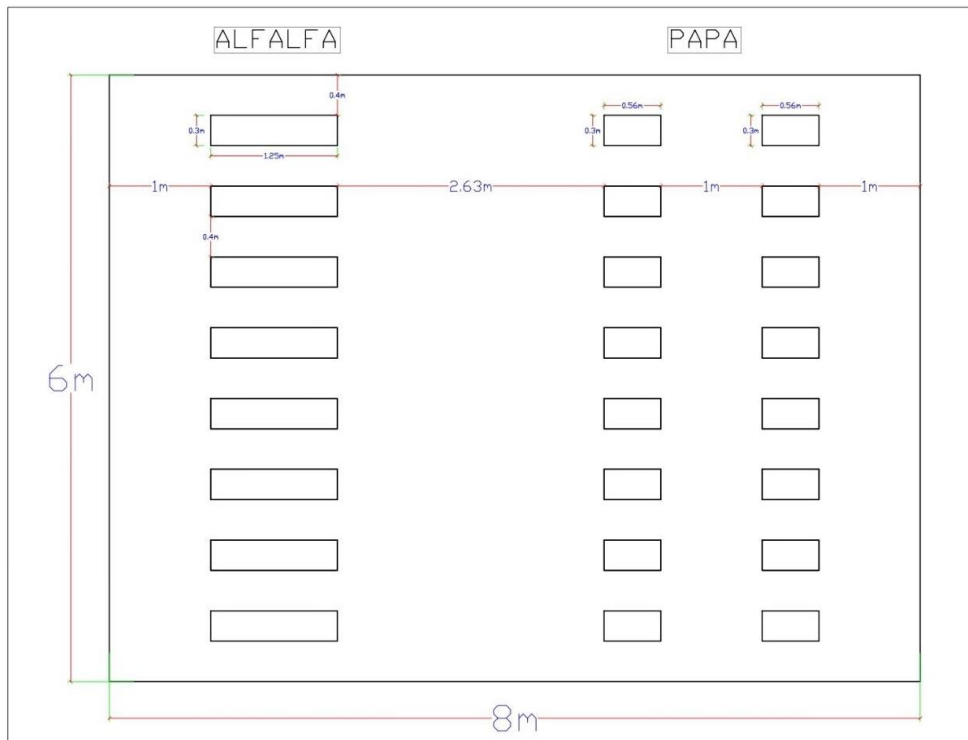


Figura 14. Distribución de maceteros en campo

Fuente: Elaboración propia.

3.5.4. Muestreo

3.5.4.1 Rotulado

El rotulado de las muestras se realizó inmediatamente después de la selección de la premuestra. Los datos deben ser legibles y con tinta indeleble. La información a colocar en el rotulado sería:

- Lugar de muestreo
- Nombre del proyecto
- Hora y fecha del muestreo
- Nombre del muestreador

3.5.4.2 Preservación y cadena de custodia

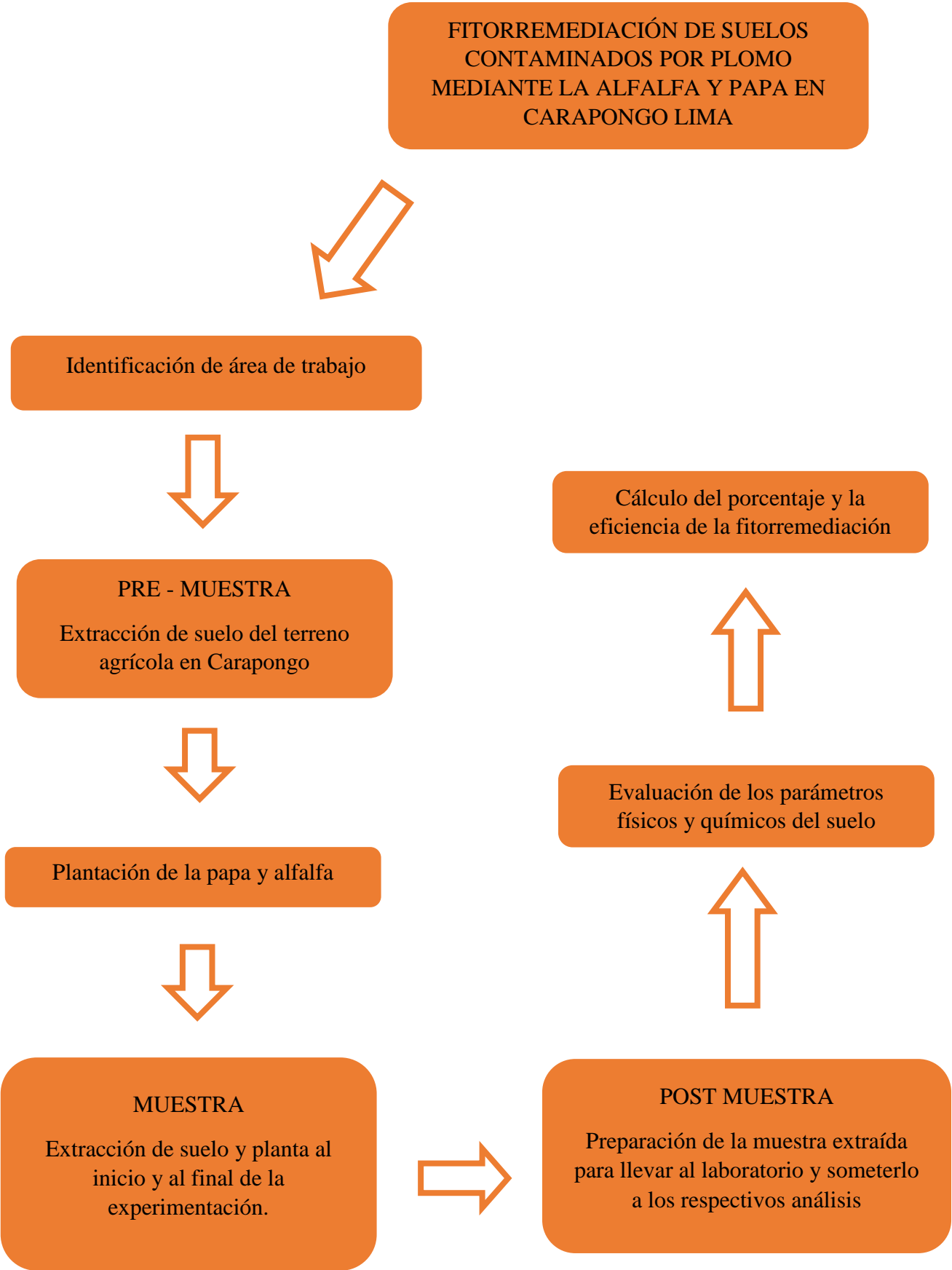
Las muestras se preservaron herméticamente en un área fresca hasta ser llevados a los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) y los laboratorios de la Universidad Peruana Unión (UPeU), en donde se sometieron a la prueba de metales pesados y análisis fisicoquímicos del suelo, respectivamente. A cada laboratorio se entregó sólo 1 Kg de suelo.

3.5.4.3 muestro de evaluación

Para el análisis de la muestra en campo, se realizó la toma de muestra de cada macetero extrayendo 6 plantas (raíces y parte aérea) de acuerdo a la etapa fenológica de cada cultivo, cada semana y antes y después de la cosecha. Adicionalmente las sometieron al análisis químico instrumental de ICP-MS para medir las propiedades fisicoquímicas del suelo y evaluar la fitoextracción de metales pesados por la densidad de la biomasa de menor, medio y mayor de la especie vegetal.

Las muestras se analizarán en los laboratorios de la Universidad Nacional Agraria La Molina (distrito La Molina) y en los laboratorios de la Universidad Peruana Unión (distrito Lurigancho-Chosica).

Diagrama del proceso de la Fitorremediación de suelos contaminados por plomo mediante la alfalfa y papa en Carapongo, Lima.



3.6 Hipótesis

3.6.1 Hipótesis General

La fitorremediación en suelo contaminado por plomo es eficiente utilizando los cultivos de papa y alfalfa en Carapongo Lurigancho – Lima, 2020

3.6.2 Hipótesis específico

- La concentración final de plomo se reducirá en el suelo cultivado de papa y alfalfa en Carapongo Lurigancho - Lima 2020.
- El cultivo de papa ejerce una mayor eficiencia en la fitorremediación de suelos contaminados por plomo en Carapongo Lurigancho - Lima 2020.
- El agua de riego tiene efecto en la solubilidad del plomo en el suelo de Carapongo Lurigancho - Lima 2020.

3.7. Análisis estadístico

El método utilizado para el análisis de datos será la estadística descriptiva. Se utilizaron gráficos y tablas que muestran el avance y progresión del proceso de fitorremediación, los datos fueron analizados mediante la prueba paramétrica t-student a un nivel de significancia de 0,05 para datos emparejados, que presentan homogeneidad de varianzas y normalidad de errores, ya que son muestras de pre y post prueba. Los datos fueron procesados con el software R y Microsoft Excel.

Los datos correspondientes a las primeras dos semanas, desde la siembra, fueron ploteados y comparados con trabajos de investigación similares, por motivo de no poder ingresar al campus de la Universidad Peruana Unión debido a la pandemia del Covid-19.

3.8. Operacionalización de las variables

Variable independiente: Absorción de Pb.

Variable dependiente: Fitorremediación del suelo por papa y alfalfa.

Tabla 5. Descripción de variables del experimento

Variables	Definición conceptual	Operacionalización	Indicador	Escala de medición
Variable independiente Absorción de Pb por papa y alfalfa	La absorción es un proceso por el cual una sustancia es incorporada a la estructura de la especie que absorbe (Agudelo et al., 2005). Para este caso, las especies fitorremediadoras son la papa y la alfalfa, y la sustancia tóxica, el plomo.	Al cabo de tres meses de haberse plantado la papa y la alfalfa, se tomará muestra de las hojas y raíces para evaluar cuánto plomo han absorbido del suelo contaminado.	Tamaño de hoja Número de hoja Tamaño de la raíz	Estándares de Calidad Ambiental de Suelo
Variable dependiente Fitorremediación	La fitorremediación es el proceso en el que los contaminantes orgánicos e inorgánicos son removidos, transferidos y/o estabilizados por plantas (Agudelo et al., 2005).	Al cabo de tres meses de haberse plantado la papa y la alfalfa, se tomarán muestras de suelo para medir sus parámetros y determinar la concentración final de Pb.	Conductividad inicial Conductividad final pH inicial pH final Plomo inicial Plomo final	Estándares de Calidad Ambiental de Suelo

Fuente: elaboración propia.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Evaluación de Calidad de Agua de Riego

Tabla 6. Evaluación de la calidad de agua de riego

INDICADORES	CONCENTRACIÓN	ECA (Categoría 3 ,D1)	EVALUACIÓN
pH	3.70	6,5 – 8,5	Muy ácido
C.E.	2040 (µS/cm)	1600 (µS/cm)	Elevado
SUMA DE CATIONES			
Nitratos	1.86 mg/L	100 mg/L	No pasa el ECA
Sulfatos	325.92 mg/L	1000 mg/L	No pasa el ECA
Cloruros	66.5 mg/L	500 mg/L	No pasa el ECA
SUMA DE ANIONES			
Boro	0.23 mg/L	1 mg/L	No pasa el ECA
Plomo	0.1829 mg/L	0,05 mg/L	Si pasa el ECA

Fuente: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua de riego.

Análisis de resultados

El muestreo de agua se realizó en Carapongo, Lima, el análisis de agua de riego muestreado indicó un pH de 3.7 y al comprar con el estándar de calidad ambiental de agua de riego (ECA) se puede diferenciar que tiende a ser más ácido. En este sentido, Giráldez (2019) menciona que el pH es un factor importante para determinar la solubilidad de los metales pesados en el suelo. Por otro lado, las concentraciones de plomo fueron altas con respecto al ECA. Según Tintín y Moscoso (2013) las concentraciones de plomo tienden a estar más

disponibles donde el pH es ácido o pH neutro. Estos son factores importantes para la adsorción de los metales pesados ya que están fuertemente condicionada por el pH del suelo y por tanto también la disponibilidad de sus compuestos, el plomo se acumula cerca de la superficie del suelo aproximadamente en las dos primeras pulgadas y la absorción varía significativamente; depende del pH del suelo, de la mineralogía, de la textura, del contenido de la materia orgánica.

4.1.2 Remoción de plomo en suelo

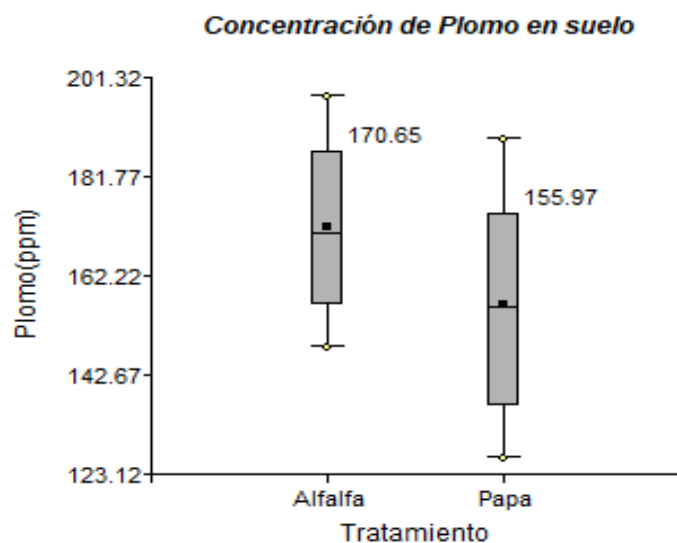


Figura 15. Gráfico de cajas de la concentración de plomo.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de resultados

Según el diagrama de cajas, en la figura 7, se tiene que el suelo contaminado por plomo que está fitorremediado con la alfalfa, *Medicago Sativa*, presentó una mediana de 169 ppm de plomo, mientras que el suelo fitorremediado con papa, *Solanum Tuberosum*, evidenció una mediana de 160 ppm de plomo. El límite inferior y superior en la alfalfa es de 200 ppm y 144 ppm respectivamente, en tanto los límites de papa, son 124 ppm y 182 ppm respectivamente; y no se observaron valores atípicos. Por la forma de las cajas de concentración, se puede observar que los datos de alfalfa y papa tienen similar dispersión, pero que la papa fue más efectiva porque tiene menores valores de concentración de plomo en el suelo. En este sentido, Tintin y Moscoso (2013) menciona que el plomo se acumula

cerca de la superficie del suelo aproximadamente en las dos primeras pulgadas, además el Pb a pesar de ser soluble en el suelo puede ser absorbido principalmente por los pelos de las raíces y es almacenado en un grado considerable en las paredes celulares.

Tabla 7. Concentración de plomo en la post muestra

SEMANA	ALFALFA (ppm)	PAPA(ppm)
0	207.25	207.25
2	197.77	189.53
4	186.69	174.57
6	175.96	163.76
8	170.65	155.97
10	166.97	148.97
12	156.32	136.64
14	148.53	126.67

Fuente: Elaboración propia.

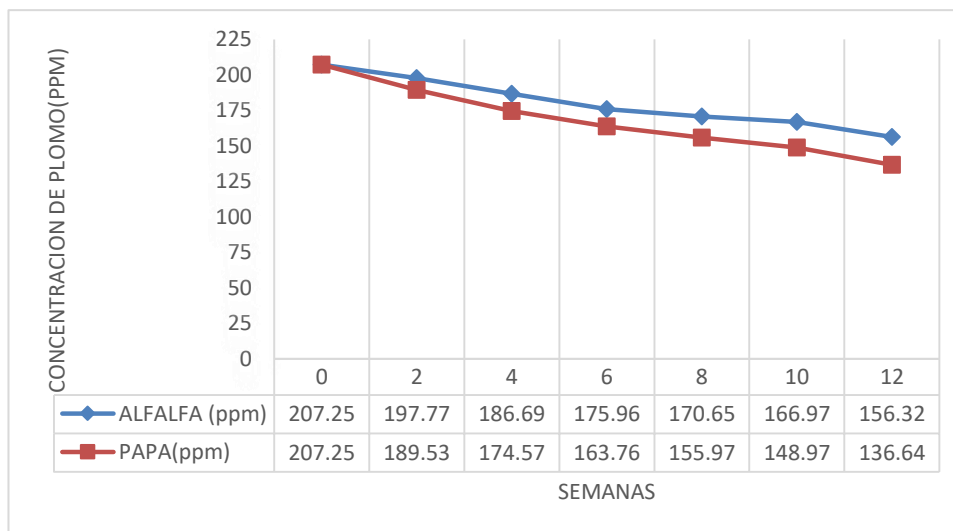


Figura 16. Concentración de Plomo (ppm) en la pos muestra de suelo

Fuente: Elaboración propia

Análisis de resultado

En la tabla 7, se muestra que la concentración de plomo al comienzo de la evaluación de la muestra fue 207.25 ppm en ambos tratamientos, al comparar con el Estándar de Calidad Ambiental se evidenció un nivel elevado de concentración de plomo, pero al estar en contacto en la fitorremediación con alfalfa y papa se evaluó menores concentraciones en las posteriores semanas. Esto debido a que la detoxificación del metal en las hojas de las plantas o su inmovilización mediante el transporte hacia las vacuolas de las células de las hojas (Schreck et al., 2012, citado en Chávez, 2014), reduce su concentración en las hojas. De esta manera, la acumulación del plomo se da principalmente en la raíz, seguido del tallo y las hojas (Chávez, 2014).

Tabla 8. Porcentaje de remoción de Pb en el post muestra

semana	Alfalfa (%)	Papa (%)
0	0%	0%
2	4.57%	8.55%
4	9.92%	15.77%
6	15.10%	20.99%
8	17.66%	24.74%
10	19.44%	28.12%
12	24.58%	34.07%
14	23.32%	38.88%

***Evaluados con respecto a la cantidad inicial de Pb (207.25 ppm).**

Fuente: Elaboración propia

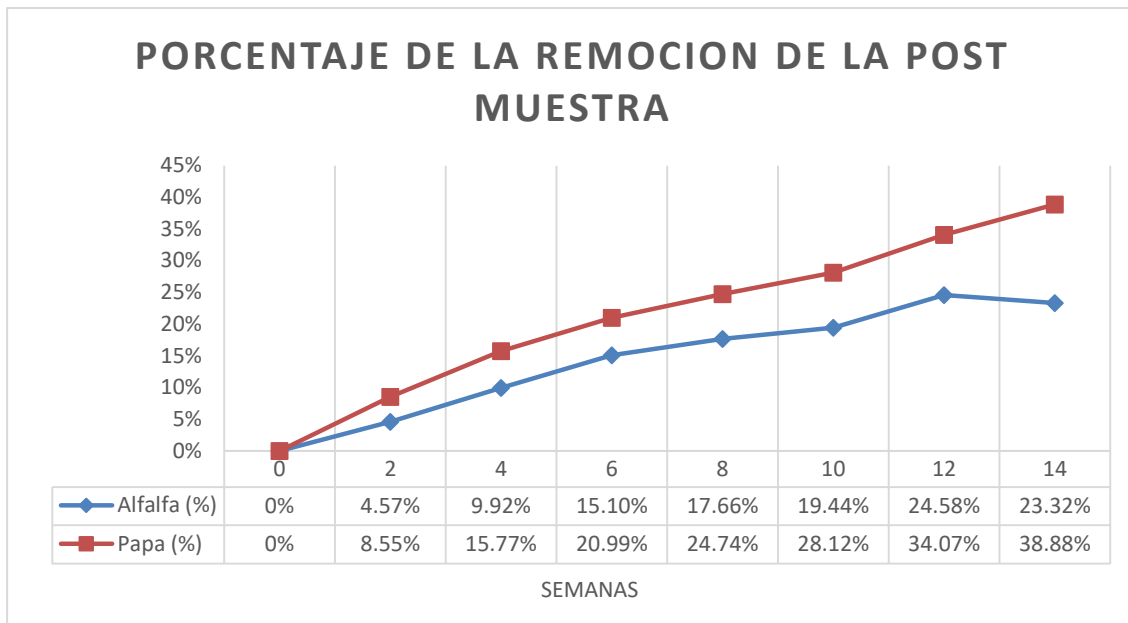


Figura 17. Porcentaje de la remoción de plomo en la post muestra.

Fuente. Elaboración propia.

Análisis de resultado

En los resultados después de pasar las semanas se pudo notar que el porcentaje de remoción se dio de manera progresiva, en la fitorremediación con alfalfa se alcanzó un máximo del 24.58% de remoción de plomo. En este sentido, Giraldez (2019) La raíz es la más sensible a elementos tóxicos en el ambiente, ya que es un órgano especializado en la absorción y pudo evidenciar que la alfalfa es una especie vegetal muy sensible a la presencia de cadmio, plomo y níquel, además determinó que el mayor porcentaje de la capacidad de fitoextracción en plomo fue de (25.93%), y que la alfalfa se comporta como una planta exclusora y estabilizadora de los metales pesados en sus raíces. Por otro lado, en la fitorremediación con la planta de papa se alcanzó un 38.88%, el cual fue el más óptimo para la remoción de plomo, ya que el tratamiento fitorremediado con la planta de papa absorbió mejor esto debido a que la raíz de la papa posee cargas negativas en sus células de la rizodermis y estas interacciones con la carga positiva de los metales pesados presentes en el suelo creando un equilibrio dinámico. Esto indica que la papa generó una mayor capacidad de absorción en sus primeras semanas de crecimiento, a diferencia de la alfalfa, que mostró una mayor absorción durante la etapa final del experimento. Según, Baghour et al (2001) en cultivo de papa evidencia una

adecuada Fito extracción de plomo ;principalmente su acumulación se genera en la raíz y los tubérculos, además la lenta translocación del plomo en la planta, reduce su acumulación en el tubérculo.

Tabla 9. Prueba T-Student para la variable concentración de plomo

Alfalfa y Papa	
Promedio de la concentración de plomo fitorremediado con alfalfa	171.84
Promedio de la concentración de plomo fitorremediado con papa	159.59
P-valor	0.1675

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 9 se puede observar que existe una diferencia entre el promedio de las concentraciones de plomo en suelo cultivado por papa y por la alfalfa, sin embargo, al aplicar la prueba paramétrica T-Student se encontró que el p-valor es mayor a $\alpha=0.05$, por lo tanto, no se evidencia diferencias significativas entre estos dos promedios. (ANEXO 1).

Finalmente, para poder analizar la influencia de los parámetros del suelo de pH, M.O. y C.E. sobre la concentración de plomo durante el experimento, se presentan las siguientes figuras:

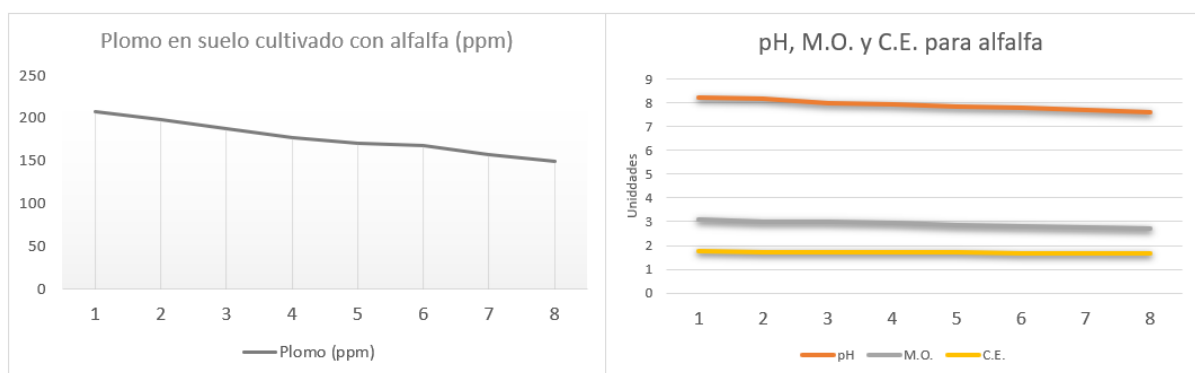


Figura 18. Influencia de los parámetros del suelo PH, M.O y C.E en el cultivo de alfalfa

Fuente: Elaboración propia.

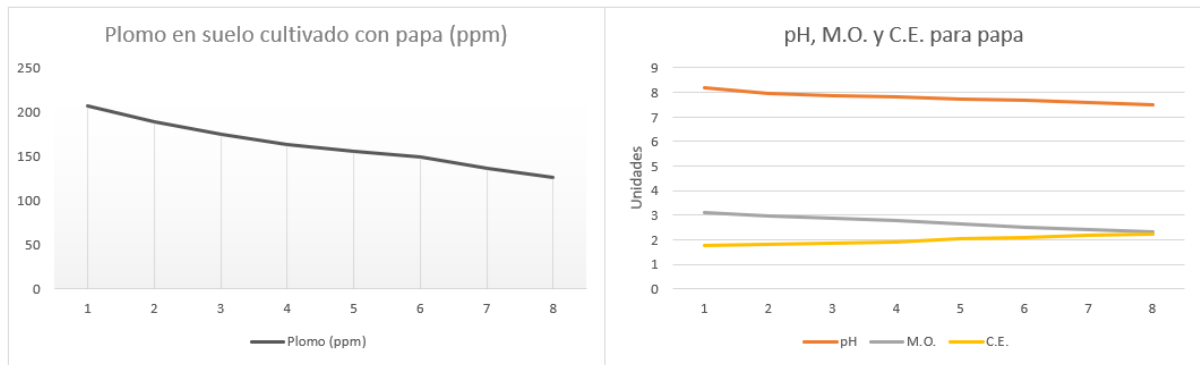


Figura 19. Influencia de los parámetros del suelo PH, M.O y C.E en el cultivo de papa

Fuente: elaboración propia.

Análisis de resultado

De la figura 10 y 11, se observa que los parámetros PH, M.O y C.E tienen un ligero descenso durante las semanas de la evaluación, sin embargo, no son notorios. El único comportamiento atípico es el de la conductividad eléctrica en el caso de la papa. Esto se puede ser porque los suelos son ligeramente salinos y tienen correlación directa con la concentración de plomo en los suelos. Según, Giráldez (2019) menciona que el pH es un factor importante para determinar la solubilidad de los metales pesados en el suelo y al darse el incremento de la materia orgánica significa que favorecerá al mejor desarrollo de la planta. Además, son suelos que tienen una mejor disponibilidad de los metales pesados y le dan buenas condiciones físicas al suelo para fitorremediar.

4.1.3 Potencial de hidrógeno

El suelo contaminado por plomo que está fitorremediado con la alfalfa "*Medicago Sativa*" presentó una mediana de 7.83 de pH, caracterizado como moderadamente alcalino y el suelo fitorremediado con papa "*Solanum Tuberosum*" evidenció una mediana de 7.67, caracterizado ligeramente alcalino. El límite inferior y superior en la alfalfa es de 7.8 y 8.17 respectivamente, en tanto los límites de papa, son 7.49 y 7.98 respectivamente; y no se observaron valores atípicos. Por la ubicación de las cajas, se puede observar que la alfalfa tiene tendencia a ser más alcalina que la papa.

Tabla 10. Prueba T-Student para la variable pH

Alfalfa y Papa	
Promedio de pH en alfalfa	7.86
Promedio de pH en papa	7.74
P-valor	0.2205

Fuente: Elaboración propia

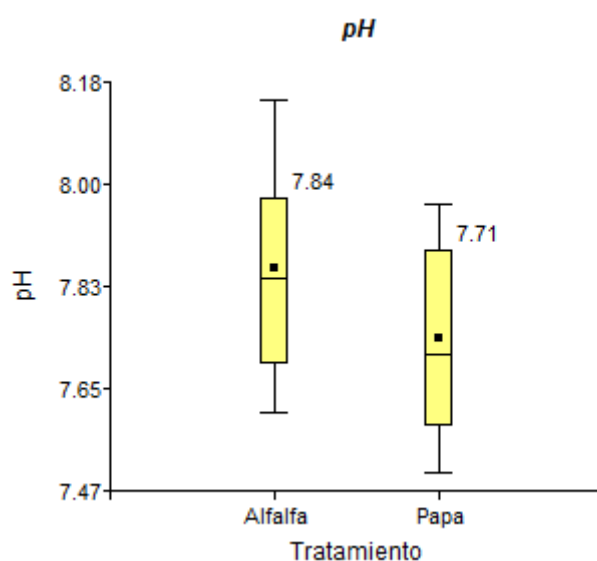


Figura 20. Gráfico de cajas de la variable pH

Fuente: Elaboración propia

Análisis de resultado

En cuanto a las diferencias estadísticas, los valores de pH cumplieron con la aceptación de las pruebas de normalidad, homogeneidad de varianzas e independencia de muestras (Anexo 2), por ello se ejecutó la prueba paramétrica T-Student. El p-valor=0.2205 es mayor al $\alpha=0.05$, por ello la prueba no evidenció diferencias significativas en los tratamientos para la variable previamente mencionada. Según, Giráldez (2019) La caracterización fisicoquímica del suelo contaminado por metales pesados tuvo como resultado un Ph ligeramente neutro, donde menciona que el pH es un factor importante para determinar la solubilidad de los metales pesados en el suelo y como también para su movilidad y disponibilidad en las

plantas; específicamente a medida que disminuye el pH aumenta la solubilidad de los mismos.

4.1.4 Materia orgánica

El suelo contaminado por plomo que está fitorremediado con la alfalfa "*Medicago Sativa*" presentó una mediana de 2.86 de materia orgánica, y el suelo fitorremediado con papa "*Solanum Tuberosum*" evidenció una mediana de 2.65. El límite inferior y superior en la alfalfa es de 2.70 y 2.87 respectivamente, en tanto los límites de papa, son 2.28 y 3.00 respectivamente; y no se observaron valores atípicos. Por la forma de las cajas, se puede observar que la alfalfa tiene valores menos dispersos que la papa, y que la papa tiende a tener menor materia orgánica.

Tabla 11. Prueba T-Student para la variable materia orgánica

Alfalfa y Papa	
Promedio de materia orgánica en alfalfa	2.93
Promedio de materia orgánica en papa	2.76
P-valor	0.0938

Fuente: Elaboración propia

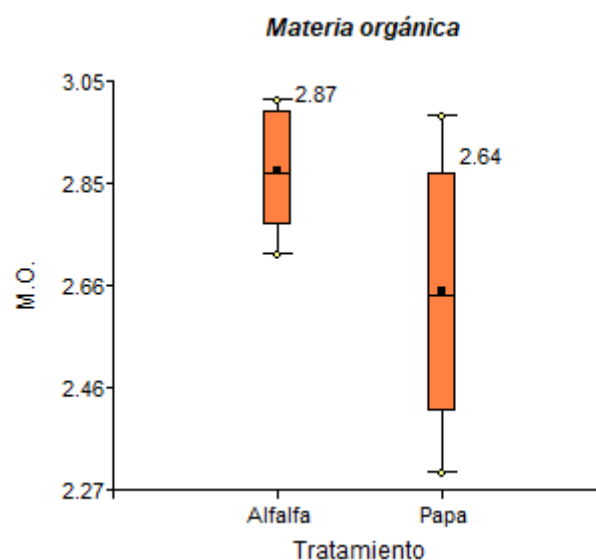


Figura 21. Gráfico de cajas de la variable materia orgánica.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de resultado

En cuanto a las diferencias estadísticas, La variable materia orgánica presentó distribución normal de errores, homogeneidad de varianzas e independencia de muestras, por ello se ejecutó la prueba paramétrica T-Student. El p-valor es 0.0938 mayor al $\alpha=0.05$, en el Anexo (3). por lo tanto, la prueba no evidenció diferencias significativas en los tratamientos para la variable previamente mencionada. Donde se puede determinar que en los dos tratamientos la materia orgánica incrementó después de la Fitorremediación. Según, Giráldez (2019) el incremento de la materia orgánica significa que favorecerá al mejor desarrollo de la planta. Además, son suelos que tienen una mejor disponibilidad de los metales pesados y le dan buenas condiciones físicas al suelo.

4.1.5 Conductividad eléctrica

El suelo contaminado por plomo que está fitorremediado con la alfalfa, *Medicago Sativa*, presentó una mediana de 1.68 de conductividad eléctrica, y el suelo fitorremediado con papa, *Solanum Tuberosum*, evidenció una mediana de 2.00. El límite inferior y superior en la alfalfa es de 1.65 y 1.70 respectivamente, en tanto los límites de papa, son 1.81 y 2.25 respectivamente; y no se observaron valores atípicos. Por la forma de las cajas, se puede observar que la papa tiene valores muy dispersos en comparación a los de la alfalfa. Por la ubicación de las mismas, se observa que la alfalfa tiene valores mucho menores de conductividad eléctrica.

Tabla 12. Prueba e Friedman para la variable conductividad eléctrica

	Alfalfa y Papa
Promedio de conductividad eléctrica en alfalfa	1
Promedio de conductividad eléctrica en papa	2
P-valor	Menor a 0.0001

Fuente: Elaboración propia

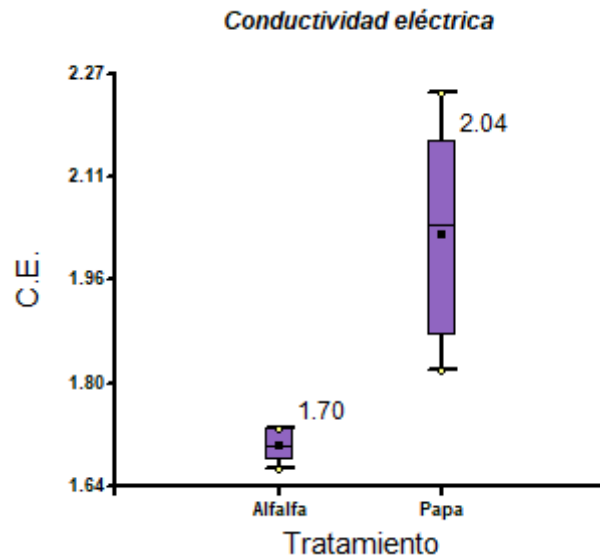


Figura 22. Gráfico de cajas de la variable conductividad eléctrica

Fuente: Elaboración propia

Análisis de resultado

En cuanto a las diferencias estadísticas, La variable conductividad eléctrica presentó distribución normal de errores, sin embargo, no mostró homogeneidad de varianzas e independencia de muestras, por ello se realizó la prueba no paramétrica de Friedmann. La prueba evidenció diferencias significativas en los tratamientos para la variable previamente mencionada ambos tratamientos generaron descomposición de la materia orgánica, en especial el tratamiento fitorremediado con planta de papa, que generó una mayor reducción de la materia orgánica e incremento de la conductividad eléctrica. Según, Sobolev y Begonia, (2008) La degradación de la materia orgánica libera nutrientes, incrementando la conductividad eléctrica. En referencia al experimento en suelos contaminados por plomo, el cual manifiesta una reducción de materia orgánica y una tendencia a la acumulación de potasio y nitrógeno.

4.2. DISCUSIONES

La composición química de la papa nos permite conocer y entender una serie de interacciones en el metabolismo del mismo. Según Tintin y Moscoso (2013) la raíz de la papa posee cargas negativas en sus células debido a la presencia de grupos carboxilo del ácido péptico, las cargas negativas de estas células de la rizodermis interactúan con las positivas de los metales pesados presentes en el suelo creando un equilibrio dinámico que facilita la entrada hacia el interior celular. De esta forma los cationes ingresan a la pared celular donde la parte hidrofílica facilita de esta forma el transporte iónico y una vez unida las cargas positivas a las negativas de la pared celular los metales pesados se transportan por la vía apoplástica y simplástica; recientemente se ha demostrado que parte del flujo del Pb puede quedar retenido en la pared celular por la estructura de lignina y celulosa (Marmioli et al. 2005, como se citó por Navarro et al, 2007).

El agua de río Rímac presenta un pH alcalino cercano a 8.5, conductividad eléctrica reducida, bajo nivel de cloruro, plomo, nitratos y sulfatos (Castillo & Medina, 2014). Sin embargo, el agua del Río Rímac extraída en Carapongo presentó una alta conductividad eléctrica, bajo pH, alto en cloruro, plomo.

Según Soldevilla et al (1987) los sulfuros polimetálicos pasan a sulfatos por oxidación biológica produciendo ácidos y metales en solución. Además, según Aduvire (1991) los drenajes de mina con alta concentración de Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, y otros metales, ricos en oxígeno, generan aguas muy ácidas. La alta concentración de plomo en río proviene de la disolución de sulfuros de plomo, acidificando el agua (Aduvire, 1991). El alto C.E. se debe a la presencia de alta cantidad de minerales producto de la actividad minera.

Los suelos costeros aledaños a los ríos son generalmente alcalinos por las bajas precipitaciones de Lima, alta cantidad de arcilla 2:1 con gran capacidad de intercambio catiónico y elevada concentración de minerales como potasio, calcio, magnesio, etc (Carpio, 1999). El suelo empleado presentó alta concentración de limo, arcilla y materia orgánica, lo que genera una elevada capacidad buffer para reducir su acidez. Por ello, a pesar de la influencia del con agua ácida del río, el suelo mantiene su alcalinidad. Además los suelos aledaños no son inundados constantemente por el agua del río, mantienen la humedad por asenso del agua del río mediante capilaridad, evitando la degradación de la arcilla y lavado de nutrientes (Demin, 2014).

Las plantas presentan diversos mecanismos de defensa frente al estrés por exceso de plomo en suelo. En primer lugar la mayor parte del plomo que presenta carga positiva se concentra en la zona radicular (Chávez, 2014), según Lane y Martin (1977), citado en Sharma & Shanker (2005), la endodermis y exudados de la raíz ejercen una barrera parcial.

En segundo lugar, la detoxificación del metal en las hojas de plantas (Rascio y Navari-Izzo, 2011) o su inmovilización mediante el transporte hacia las vacuolas de las células de las hojas (Schreck et al., 2012, como se citó por Chávez, 2014), reduce su concentración en las hojas (Chávez, 2014). De esta manera se acumula el plomo principalmente en la raíz, seguido del tallo y las hojas.

El aumento de concentración en plomo en el suelo reduce significativamente su crecimiento y rápido desarrollo de las raíces (Peláez et al., 2016). Adicionalmente en un ensayo por Sobolev & Begonia, (2008) en suelos contaminados por plomo evidencia que se reduce la biodiversidad microbiana, a comparación de suelos con menor concentración de plomo.

El incremento de la concentración y diversidad microbiana, incrementa la respiración aeróbica del suelo, el cual la energía química de los nutrientes en una forma biológicamente útil; dichos procesos incluyen la fermentación y la respiración (Algorta et al., 2008). Este proceso de descomposición incrementa acidez. Adicionalmente en ensayo en *Zea mays*, la aminoración de concentración de plomo en suelo, incrementa la absorción de cationes básicos a la planta, como potasio, magnesio y calcio (Walker et. al, 1997, citado en Sharma & Shanker, 2005), por ello, la disminución de estos minerales, reduce el pH del suelo (Hepp, 2019)

En cuanto a la materia orgánica, Greogorich et al. (1984) menciona que es indicador de la calidad del suelo, ya que incide directamente sobre propiedades edáficas, como estructura y disponibilidad de carbono y nitrógeno. Numerosos estudios coinciden en que la materia orgánica, es el principal indicador e indudablemente el que posee una influencia más significativa sobre la calidad del suelo y su productividad (Quiroga y Funaro, 2004 citado por Silva, s.f.).

Ambos tratamientos generaron descomposición de la materia orgánica, en especial el tratamiento fitorremediado con planta de papa, que generó una mayor reducción de la materia orgánica e incremento de la conductividad eléctrica. La degradación de la materia orgánica libera nutrientes, incrementando la conductividad eléctrica. Esto concuerda con el experimento de Sobolev & Begonia, (2008) en suelos contaminados por plomo, el cual

manifiesta una reducción de materia orgánica y una tendencia a la acumulación de potasio y nitrógeno.

La capacidad de fitorremediación de la planta de alfalfa resultó positiva, esto se corrobora con el experimento de Agnello (2014) en planta de alfalfa, que evidencia una adecuada fitoextracción, actividad de la rizósfera, incrementa la biodiversidad microbiana del suelo y una gran biomasa aérea y debajo de la tierra. Adicionalmente en un ensayo por Sêkara, Poniedzialek, Ciura, & Jêdrszczyk, (2005) demuestra que la alfalfa es la planta más efectiva en fitorremediación de plomo en suelo, a comparación de otros cultivos y concuerda con la extracción del plomo del suelo del experimento.

De manera similar, se generó una óptima fitorremediación por la planta de papa, esto concuerda con el ensayo de Baghour et al., (2001) en cultivo de papa, el cual evidencia una adecuada fitoextracción de plomo por la planta de papa, principalmente su acumulación se genera en la raíz y los tubérculos, además la lenta translocación del plomo en la planta, reduce su acumulación en el tubérculo. Esto concuerda con el ensayo de Aboughalma, Bi, & Schlaak, (2008) en suelos contaminados con plomo, el cual la cantidad acumulada de Pd en la planta de papa fue similar. La mejor absorción de plomo por la papa, podría deberse a la zona tuberosa.

Por su parte Navarro et al (2007) La planta utiliza “el mecanismo de complejación en el interior de la célula para detoxificar (amortiguar) los metales pesados, uniendo a ellos ligándose para formar complejos”. De este modo, el metal queda sumergido en una interacción química que le mantiene en equilibrio electrónico (acomplejado) en la planta.

Munive (2018) menciona que la fitorremediación no es una técnica aplicable para zonas con altas concentraciones de metales pesados y con heterogeneidad de la contaminación, ya que es una técnica de largo plazo. Además, en su investigación muestra que la planta de maíz acumula el plomo y cadmio en mayor cantidad en las raíces luego en orden descendente en las hojas y los tallos respectivamente; incrementándose ante una mayor presencia de plomo en el suelo.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis en conjunto de las variables evaluadas, se concluye que:

- El cultivo de papa y alfalfa en los suelos contaminados con plomo, reduce la concentración de plomo en el suelo generando una adecuada actividad fitorremediadora. es por ello que la capacidad de fitorremediar de la papa es 15% mejor que la capacidad fitorremediadora de la alfalfa, sin embargo, no existen diferencias estadísticas significativas entre ambos tratamientos. pero cabe recalcar que remoción de plomo por la papa fue de 38.88% y de la alfalfa fue de 23.33%, pudiendo deducir que el mejor remediador fue la papa por tener una mejor bioacumulación a nivel de raíz y tubérculo.
- En el análisis del agua de riego muestreado el pH nos indica 3.7 menciona que el pH es un factor importante para determinar la solubilidad de los metales pesados en el suelo. Además, tienden a estar más disponibles donde el pH es ácido o pH neutro. Estos son factores importantes para la absorción de los metales pesados ya que están fuertemente condicionada por el pH del suelo y por tanto también la disponibilidad de sus compuestos, el plomo se acumula cerca de la superficie del suelo aproximadamente en las dos primeras pulgadas, el agua de riego de la muestra en Carapongo, Lima, como ya se menciona tiene un pH ácido de 3,7. Este suelo ácido tiende a presentar problemas de retención de macroelementos como el calcio, magnesio y fósforo. También, se analizó la conductividad eléctrica y fue de 2040 ($\mu\text{S}/\text{cm}$), evidenciando una elevada conductividad eléctrica en comparación con el ECA establecidos por el MINAM).
- Se pudo determinar en el gráfico de cajas (Figura 15) que el límite inferior y superior en la alfalfa es de 200 ppm y 144 ppm respectivamente, en tanto los límites de papa, son 124 ppm y 182 ppm respectivamente esto muestra que el cultivo de la papa presento menores valores de concentración de plomo en el suelo tratado. Ademas dicho suelo contaminado por plomo que está fitorremediado con la alfalfa "Medicago Sativa" en el gráfico de cajas se pudo observar que el límite inferior y superior en la alfalfa es de 7.8 y 8.17 respectivamente, en tanto los límites de papa, son 7.49 y 7.98 respectivamente esto indica que al utilizar el cultivo de la alfalfa tiene una tendencia a ser más alcalina que la papa.

RECOMENDACIONES

- Se tiene que seguir analizando y evaluar la capacidad de plantas que puedan remover las concentraciones de plomo u otros metales y que no excedan de los Estándares de Calidad ambiental.
- Se tiene que tener medidas de control más eficientes para evaluar las concentraciones de plomo finales en los cultivos que son de consumo.
- Realizar estudios sobre el análisis de fertilizantes que se usan en el suelo de los terrenos agrícolas de Carapongo, Lima ya que esto pudo influir en el nivel de pH y la C.E.
- Evaluar los valores de pH y la conductividad del cultivo de alfalfa porque se encontró que tiene una mayor tendencia a la alcalinidad y tiene menor conductividad eléctrica para saber si de esto depende que el cultivo de alfalfa tenga una menor capacidad de fitorremediación que el cultivo de papa.
- Evaluar las características de la planta de alfalfa y papa para determinar en qué parte se almacenan o se absorben mejor los metales.

REFERENCIAS

- Aboughalma, H., Bi, R., & Schlaak, M. (2008). Electrokinetic enhancement on phytoremediation in Zn , Pb , Cu and Cd contaminated soil using potato plants. *Journal of Environmental Science and Health*, 43(8), 37–41. <https://doi.org/10.1080/10934520801974459>
- Acosta de Armas, M; Montilla Peña. J. (2011). Evaluación de la contaminación por cadmio y plomo en agua, suelo, y sedimento y análisis de impactos ambientales en la subcuenca del rio Balsillas afluente del rio Bogotá. Trabajo de grado. Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia.
- Aduvire, O. (1991). Drenaje ácido de Mina. Generación y Tratamiento. *Instituto Geológico y Minero de España*, 51.
- Agnello, A. C. (2014). Potential of alfalfa for use in chemically and biologically assisted phytoremediation of soil co-contaminated with petroleum hydrocarbons and metals. In *Earth Sciences*. Université Paris-Est.
- Agtech América, (2019). Manipulación exitosa del crecimiento de la planta a través de biorreguladores. Disponible en: <http://agtechamerica.com/manipulacion-exitosa-del-crecimiento-de-la-planta-a-traves-de-biorreguladores/>
- Alberich, A., Díaz-Cruz, J. M., Ariño, C., & Esteban, M. (2008). Potential shift correction in multivariate curve resolution of voltammetric data. General formulation and application to some experimental systems. *The Analyst*, 133(1), 112–125. doi:10.1039/b715667g
- Algorta, G., Amorin, B., Varela, G., & Grotiuz, G. (2008). *Temas de Bacteriología y Virología Médica* (3rd ed.).
- Amones, R; Barja, M. (2019). Capacidad de acumulación de plomo de las especies adventicias *Amaranthus quitensis*, *Chenopodium ambrosioides* y *Tagetes minuta* en diferentes tipos de suelos. Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Peruana Unión. Lima, Perú.
- Bargiela, M. (2016). Caracterización de la materia orgánica y su relación con los metales pesados en sedimentos del cauce del río Matanza (Provincia de Buenos Aires, República Argentina). Memoria para optar al grado de Doctora. Universidad de Vigo. Galicia, España.
- Baghour, M., Moreno, D. A., Gemma, V., Hernández, J., Castilla, N., & Romero, L. (2001).

Phytoextraction of Cd and Pb and Physiological Effects in Potato Plants (*Solanum Tuberosum* Var . Spunta): Importance of Root Temperature. *Journal of Agricultural Food Chemystre*, 49, 5356–5363.

Beltrán-Pineda, M; Gómez-Rodríguez, A. (2016). Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg), mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: una revisión. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*. 12. 172-197. 10.18359/rfcb.2027.

Bonilla, S. (2013). Estudio para tratamientos de biorremediación de suelos contaminados con plomo, utilizando el método de fitorremediación. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Pólitécnica Salesiana Sede Quito. Quito, Ecuador.

Carrera, L. (2017). Efecto del calentamiento del suelo en la capacidad de sorción de las sustancias húmicas sobre metales y cambios en la repelencia al agua simulando incendios de baja, mediana y alta intensidad en la reserva ecológica del Antisana. Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental. Universidad Pólitécnica Salesiana Sede Quito. Quito, Ecuador.

Carpena, R., & Bernal, M. (2007). Claves de la fitorremediación: Fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, 1-3.

Carpio, M. L. (1999). Consideraciones sobre los endorreismos de la costa norte de Perú en su relación con eventos de el niño. *PAPELES DE GEOGRAFÍA*, 3, 87–102.

Castillo, Z., & Medina, V. (2014). *Gestión de Calidad y Auditoría Ambiental*.

Céspedes, C., & Millas, P. (2015). Relevancia de la materia orgánica del suelo. *Boletín INIA-Instituto de Investigaciones Agropecuarias*.

Chávez, L. (2014). Fitorremediación con especies nativas en suelos contaminados por plomo. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

Cordero, J. (2015). Fitorremediación in situ para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados (plomo y cadmio) y evaluación de selenio en la finca Furatena Alta en el municipio de Útica (Cundinamarca). Bogotá, Colombia.

Delgadillo-López, A; González-Ramírez, C; Prieto-García, F; Villagómez-Ibarra, J; & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612. Recuperado en 24 de diciembre de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002&lng=es&tlng=es.

Demin, P. (2014). Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*, 1, 1–24.

FAO. (2008). Año Internacional de la papa: La papa. Ficha disponible en: <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/index.html>

Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA). (S.f.). Alfalfa en rama. Disponible en: http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/alfalfa-en-rama#:~:text=La%20alfalfa%20de%20calidad%20contiene,7%20a%208%25%20de%20lignina.

García, I; Dorronsoro, C. (S.f). Contaminación del suelo. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada. Disponible en: <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/proced.htm>

García, C., Moreno, J. L., Hernández Fernández, M. T., & Polo, A. (2002). Metales pesados y sus implicaciones en la calidad del suelo.

Giraldez, L. (2019). Evaluación de la capacidad fitoextractora de la alfalfa (*Medicago sativa*) en la remediación de suelos degradados por fertilización sintética en la E.E.A El Mantaro. Tesis para optar el Grado Académico de Maestra en Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional del Centro del Perú – Unidad de Posgrado Facultad de Ingeniería Química – Huancayo – Perú.

Hepp, C. (2019). Recuperación de suelos ácidos en la Patagonia. *Instituto De Investigaciones Agropecuarias*, 32, 1–4.

Herbazest. S.f. Papa. Ficha informativa. Disponible en: <https://www.herbazest.com/es/hierbas/papa>

- Hernández, R; Fernández, C; Baptista, L. (2014). Metodología de la investigación. México: McGraw-Hill.
- Huaytalla, M. (2016). Eficiencia del Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente (UASB) a escala piloto en el Tratamiento de las Aguas Residuales Domésticas provenientes de la comunidad de Carapongo - Lurigancho, Chosica. Ciencia, Tecnología y Desarrollo. Vol. 2 Núm. 1 (2016). Disponible en: https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/628
- Isaza, G. (2013). Efecto del plomo sobre la imbibición, germinación y crecimiento de *Phaseolus vulgaris L.* y *Zea mays L.* Biotecnología Vegetal, 13(3). Disponible en: <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/114/472>
- Llanos, C. (2017). Capacidad fitoextractora de *Amaranthus hybridus L.* y micorrizas en suelos contaminados con metales pesados, Sector Shorey, Quiruvilca, Santiago De Chuco, La Libertad. Tesis para la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad César Vallejo. Trujillo, Perú.
- Lora, R; Bonilla, H. (2010). Remediación de un suelo de la Cuenca Alta del río Bogotá contaminado con los metales pesados Cadmio y Cromo. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 13 (2): 61-70, 2010
- Lucho-Constantino, C; Prieto-García, F; Del Razo, L; Rodríguez-Vazquez, R; Poggi-Varaldo, H. (2005). Chemical fractionation of boron and heavy metals in soils irrigated with wastewater in central Mexico. Agriculture, Ecosystems and Environment 108 (2005) 57–71
- Medina, K; Montano, Y. (2014). Determinación del factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el *Juncus arcticus Willd.* y *Cortaderia rudiusscula Stapf*, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza-Ancash 2013. Proyecto de investigación para optar por el título profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo. Ancash, Perú.
- Martínez, G., & Palacio, C. (2010). Determinación de metales pesados cadmio y plomo en suelos y en granos de cacao frescos y fermentados mediante espectroscopia de absorción atómica de llama. Determinación de metales pesados cadmio y plomo en suelos y en granos de cacao frescos y fermentados mediante espectroscopia de absorción atómica de llama. Bucaramanga, Colombia

- Munive, R. (2018). Recuperación de suelos degradados por contaminación con metales pesados en el Valle del Mantaro mediante compost de Stevia y fitorremediación. Tesis para la obtención del Grado de Doctoris Philosophiae en Ingeniería y Ciencias Ambientales. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Navarro, J.P; Aguilar, I; & López-Moya, J.R. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*, 16(2),1-17. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=540/54016203>
- OMS. (2019). Intoxicación por plomo y salud. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>
- Peláez, M. J., Bustamante, J. J., & Gómez, E. D. (2016). Presencia de cadmio y plomo en suelos y su bioacumulación en tejidos vegetales en especies de *Bachiaria* en el Magdalena Medio Colombiano. *Luna Azul*, 43, 82–101. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.5>
- Rábago, I. (2011). Capacidad de amortiguación de la contaminación por plomo y por cadmio en suelos de la Comunidad de Madrid. Memoria para optar al grado de Doctor. Universidad Complutense de Madrid. España.
- Rascio, N & Navari-Izzo, F. (2011). Heavy Metal Hyperaccumulating Plants: How and Why Do They Do It? And What Makes Them So Interesting?. *Plant science : an international journal of experimental plant biology*. 180. 169-81. 10.1016/j.plantsci.2010.08.016.
- Salas-Marcial, C; Garduño-Ayala, M; Mendiola-Ortiz, P; Vences-García, J; Zetina-Román, V; Martínez-Ramírez, O.C; Ramos-García, M. (2019). Fuentes de contaminación por plomo en alimentos, efectos en la salud y estrategias de prevención. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, vol. 20, núm. 1, 2019.
- Sêkara, A., Poniedzialek, M., Ciura, J., & Jêdrszczyk, E. (2005). Cadmium and Lead Accumulation and Distribution in the Organs of Nine Crops : Implications for Phytoremediation. *Polish Journal of Environmental Studies*, 14(4), 509–516.
- Sharma, P., & Shanker, R. (2005). Lead toxicity in plants. *Brazil Journal Plant Physiology*, 17(1), 35–52.
- Silva, M. (S.f.). Materia orgánica: Su utilización en la evaluación de la calidad del suelo en

distintos ambientes del sur de Santa Fe. Disponible en:
[http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/A07639C9FDA94B058525799900609B79/\\$FILE/MSRossi-MOcalidad%20del%20suelo1.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/A07639C9FDA94B058525799900609B79/$FILE/MSRossi-MOcalidad%20del%20suelo1.pdf)

Sobolev, D., & Begonia, M. F. (2008). Effects of Heavy Metal Contamination upon Soil Microbes : Lead-induced Changes in General and Denitrifying Microbial Communities as Evidenced by Molecular Markers. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 5(5), 450–456.

Soldevilla, M., Cabrera, F., Díaz, E., & De Arambiri, P. (1987). INFLUENCIA DE LA CONTAMINACION POR METALES PESADOS EN ALGUNAS ESPECIES VEGETALES DE LAS MARGENES DE UN RIO MINERO. *Limnética*.

Soto O., Patricio, Jahn B., Ernesto, Maldonado I., Isaac, & Rodríguez S., Nicasio. (2000). RECUPERACIÓN DE UNA PRADERA DE ALFALFA (*Medicago sativa* L.) MEDIANTE FERTILIZACIÓN EN DIFERENTES CONDICIONES DE NIVEL FREÁTICO EN EL SUELO. *Agricultura Técnica*, 60(3), 236-250.

Tintin, F; Moscoso, P. (2013). Capacidad de absorción de la planta de papa *Solanum Tuberosum ssp andigena*, en el suelo contaminado con plomo. Tesis para la obtencion del titulo profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Ecuador.

Vargas, E. (2017). Metales pesados en suelos cultivados con riego y sin riego en la comunidad de ñaupapampa del distrito de Asillo – Puno. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano].
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6874>

Verdesoto, F. A. , & Moscoso, P. F. (2013). Capacidad de absorción con planta de papa en el suelo contaminado por plomo. Universidad Politécnica Salesiana

Zapata, J. (2019). Contenido de metales pesados en vegetación alrededor de una mina cerrada en la región Piura. Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial y de Sistemas. Universidad de Piura. Piura, Perú.

ANEXOS

ANEXO 1. Concentración de plomo en suelo

Prueba de Normalidad de la variable concentración de plomo en suelo

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO Concentración Plomo	14	0.00	18.67	0.96	0.8040

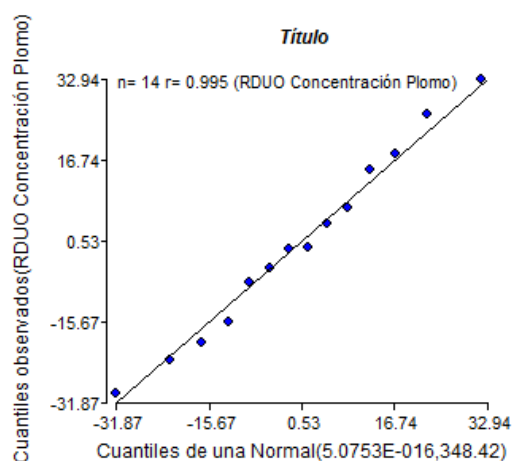


Gráfico: Distribución normal de errores de la variable concentración de plomo

Homogeneidad de varianzas de la variable concentración de plomo en suelo

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS Concentración Plomo	14	0.03	0.00	74.70

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	49.84	1	49.84	0.41	0.5327
tratamiento	49.84	1	49.84	0.41	0.5327
Error	1449.39	12	120.78		
Total	1499.23	13			

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

H_0 : Las muestras provienen de una misma distribución

H_0 : Las muestras provienen de distinta distribución

Kolmogorov-Smirnov

Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	DE(1)	DE(2)	KS	p(2 colas)
Tratamiento	Plomo (ppm)	Alfalfa	Papa	7	7	171.84	156.59	16.92	21.65	0.43	<0.20

A un nivel de significancia del 5% el p-valor es mayor a alfa, no se rechaza H_0 , por lo tanto, no se puede afirmar que las muestras provienen de distinta distribución para la variable concentración de plomo en suelo.

ANEXO 2. Potencial de hidrógeno

Prueba de normalidad de la variable pH

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO pH	14	0.00	0.17	0.93	0.5260

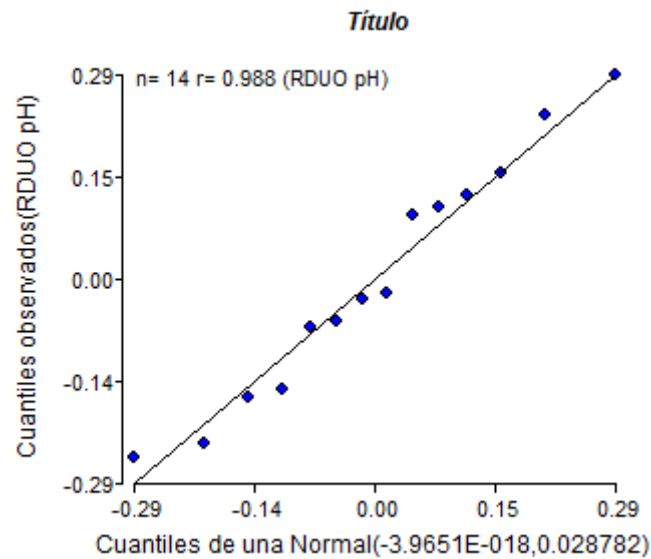


Gráfico: Distribución normal de errores de la variable pH

Homogeneidad de varianzas

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS pH	14	5.8E-04	0.00	63.61

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5.6E-05	1	5.6E-05	0.01	0.9348
Tratamiento	5.6E-05	1	5.6E-05	0.01	0.9348
Error	0.10	12	0.01		
Total	0.10	13			

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

H_0 : Las muestras provienen de una misma distribución

H_0 : Las muestras provienen de distinta distribución

Kolmogorov-Smirnov

Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	DE(1)	DE(2)	Mediana(1)	Mediana(2)	KS	p(2 colas)
Tratamiento	pH	Alfalfa	Papa	7	7	7.86	7.74	0.18	0.17	7.84	7.71	0.29	<0.20

A un nivel de significancia del 5% el **p-valor = 0.2** es mayor a alfa, no se rechaza H_0 , por lo tanto, no se puede afirmar que las muestras provienen de distinta distribución para la variable pH.

ANEXO 3. Materia orgánica

Prueba de normalidad para la variable materia orgánica

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO M.O.	10	0.00	0.13	0.98	0.9628

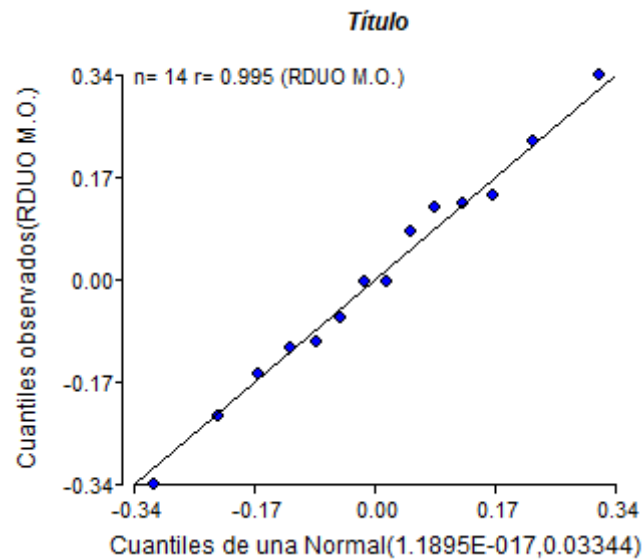


Gráfico: Distribución normal de errores de la variable materia orgánica

Prueba homogeneidad de varianzas

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS M.O.	10	0.25	0.15	65.43

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.01	1	0.01	2.64	0.1432
Tratamiento	0.01	1	0.01	2.64	0.1432
Error	0.04	8	4.6E-03		
Total	0.05	9			

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

H_0 : Las muestras provienen de una misma distribución

H_0 : Las muestras provienen de distinta distribución

Kolmogorov-Smirnov

Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	DE(1)	DE(2)	KS	p(2 colas)
Tratamiento	M.O.	Alfalfa	Papa	7	7	2.87	2.65	0.11	0.24	0.57	<0.20

A un nivel de significancia del 5% el p-valor = 0.2 es mayor a alfa, no se rechaza H_0 , por lo tanto, no se puede afirmar que las muestras provienen de distinta distribución para la variable materia orgánica.

ANEXO 4. Conductividad eléctrica

Prueba de normalidad

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
RDUO C.E.	14	0.00	0.11	0.96	0.8567

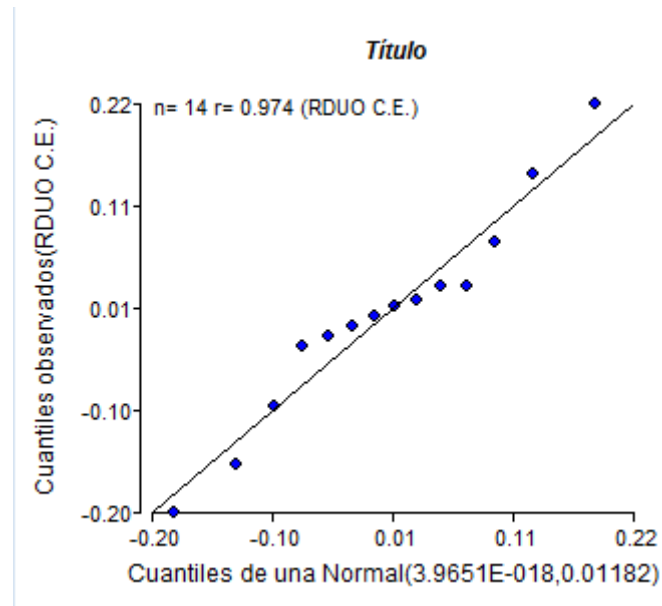


Gráfico: Distribución normal de errores de la variable conductividad eléctrica

Homogeneidad de varianzas de la variable conductividad eléctrica

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
RABS C.E.	14	0.57	0.53	70.10

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.04	1	0.04	15.74	0.0019
Tratamiento	0.04	1	0.04	15.74	0.0019
Error	0.03	12	2.7E-03		
Total	0.08	13			

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

H_0 : Las muestras provienen de una misma distribución

H_0 : Las muestras provienen de distinta distribución

Kolmogorov-Smirnov

Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	DE(1)	DE(2)	KS	p(2 colas)
Tratamiento	C.E.	Alfalfa	Papa	7	7	1.70	2.03	0.02	0.16	1.00	<0.01

A un nivel de significancia del 5% el p-valor = 0.2 es mayor a alfa, no se rechaza H_0 , por lo tanto, no se puede afirmar que las muestras provienen de distinta distribución para la variable conductividad eléctrica.

ANEXO 5. Presupuesto

PRESUPUESTO - PROYECTO FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS CON PLOMO

Ítem	Descripción	Nº unidades	Precio unitario (S/.)	Parcial (S/.)
1	Estudios preliminares	1	60	60
2	Viáticos	1	500	500
3	Acondicionamiento del terreno	1	200	200
4	Plantas	4	25	100
5	Maceteros	8	50	400
6	Análisis de muestras	1	950	950
			Total (S/.)	2210

ANEXO 6. Análisis físico-químico de la pre-muestra del suelo

PRE MUESTRA							
pH	C.E	M.O	CONCENTRACIÓN DE Pb	ANALISIS MECÁNICO			
				Arena	Arcilla	Limo	TEXTURA
				%	%	%	
8.2	1.75	3.1	207.25	51	28	21	Franco

ANEXO 7. Informes del laboratorio de suelos

Tabla 13. Análisis de suelo (en vez del anexo 8)

ANALISIS DE SUELOS									
Procedencia Departamento : LIMA Distrito : LURIGANCHO - CHOSICA Referencia : H.R. 72228-041S-20						Provincia: LIMA Predio : Boleta : 3745			
						Solicitante: LUZ LÓPEZ LÓPEZ			
Número de Muestra		C.E.	Análisis Mecánico						
Lab.	Campo	d/S/m	Arena	Limo	Arcilla	Textura	pH	M.O.	
		1:1	%	%	%		1:1	%	
2529	Muestra de papa 1	2.10	51	28	21	Fr.	7.97	2.53	
2530	Muestra de papa 2	1.72	51	28	21	Fr.	7.89	2.99	
2531	Muestra de alfalfa 1	1.73	51	28	21	Fr.	8.15	3.01	
2532	Muestra de alfalfa 2	1.72	51	28	21	Fr.	7.98	2.99	
<small>A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Ardillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Ardillo Limoso ; Ar. = Ardilloso</small>									
La Molina, 08 de marzo del 2020									
						Ing. Braulio La Torre Martínez Jefe de Laboratorio			

Tabla 14 :Análisis de suelo con plomo

ANALISIS DE SUELOS : PLOMO			
Procedencia Departamento : LIMA Distrito : LURIGANCHO - CHOSICA Referencia : H.R. 72228-041S-20			Provincia: LIMA Predio : Boleta : 1985
			Solicitante: LUZ LÓPEZ LÓPEZ
Lab.	Número de Muestra	Claves	pb ppm
479		alfalfa	197.77
480		papa	189.53
La Molina, 20 de marzo del 2020			
			Ing. Braulio La Torre Martínez Jefe de Laboratorio

Tabla15; Analisis de suelo con plomo

ANALISIS DE SUELOS : PLOMO														
Procedencia Departamento : LIMA Distrito : LURIGANCHO - CHOSICA Referencia : H.R. 72228-041S-20		Solicitante: LUZ LÓPEZ LÓPEZ												
		Provincia: LIMA Predio : Boleta : 2709												
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Número de Muestra</th> <th>pb</th> </tr> <tr> <th>Lab.</th> <th>Claves</th> <th>ppm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>853</td> <td>alfalfa</td> <td>186.69</td> </tr> <tr> <td>854</td> <td>papa</td> <td>174.37</td> </tr> </tbody> </table>			Número de Muestra		pb	Lab.	Claves	ppm	853	alfalfa	186.69	854	papa	174.37
Número de Muestra		pb												
Lab.	Claves	ppm												
853	alfalfa	186.69												
854	papa	174.37												
La Molina, 08 de Abril del 2020		Ing. Braulio La Torre Man Jefe de Laboratorio												

Tabla 16: Analisis de suelo con plomo

ANALISIS DE SUELOS : PLOMO														
Procedencia Departamento : LIMA Distrito : LURIGANCHO - CHOSICA Referencia : H.R. 72228-041S-20		Solicitante: LUZ LÓPEZ LÓPEZ												
		Provincia: LIMA Predio : Boleta : 3967												
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Número de Muestra</th> <th>pb</th> </tr> <tr> <th>Lab.</th> <th>Claves</th> <th>ppm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1085</td> <td>alfalfa</td> <td>175.96</td> </tr> <tr> <td>1086</td> <td>papa</td> <td>163.76</td> </tr> </tbody> </table>			Número de Muestra		pb	Lab.	Claves	ppm	1085	alfalfa	175.96	1086	papa	163.76
Número de Muestra		pb												
Lab.	Claves	ppm												
1085	alfalfa	175.96												
1086	papa	163.76												
La Molina, 28 de Abril del 2020		Ing. Braulio La Torre Man Jefe de Laboratorio												

Tabla 17: Analisis de suelo con plomo

ANALISIS DE SUELOS : PLOMO														
Procedencia Departamento : LIMA Distrito : LURIGANCHO - CHOSICA Referencia : H.R. 72228-041S-20		Solicitante: LUZ LÓPEZ LÓPEZ												
		Provincia: LIMA Predio : Boleta : 5497												
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Número de Muestra</th> <th>pb</th> </tr> <tr> <th>Lab.</th> <th>Claves</th> <th>ppm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1085</td> <td>alfalfa</td> <td>170.65</td> </tr> <tr> <td>1086</td> <td>papa</td> <td>135.97</td> </tr> </tbody> </table>			Número de Muestra		pb	Lab.	Claves	ppm	1085	alfalfa	170.65	1086	papa	135.97
Número de Muestra		pb												
Lab.	Claves	ppm												
1085	alfalfa	170.65												
1086	papa	135.97												
La Molina, 14 de Mayo del 2020		Ing. Braulio La Torre Man Jefe de Laboratorio												

Tabla 18: Analisis de suelo con plomo

ANALISIS DE SUELOS : PLOMO														
Procedencia Departamento : LIMA Distrito : LURIGANCHO - CHOSICA Referencia : H.R. 72228-041S-20		Solicitante: LUZ LÓPEZ LÓPEZ												
		Provincia: LIMA Predio : Boleta : 4957												
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Número de Muestra</th> <th>pb</th> </tr> <tr> <th>Lab.</th> <th>Claves</th> <th>ppm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1085</td> <td>alfalfa</td> <td>166.97</td> </tr> <tr> <td>1086</td> <td>papa</td> <td>148.97</td> </tr> </tbody> </table>			Número de Muestra		pb	Lab.	Claves	ppm	1085	alfalfa	166.97	1086	papa	148.97
Número de Muestra		pb												
Lab.	Claves	ppm												
1085	alfalfa	166.97												
1086	papa	148.97												
La Molina, 28 de Mayo del 2020		Ing. Braulio La Torre Man Jefe de Laboratorio												

Tabla 19: Analisis de suelo con plomo

ANALISIS DE SUELOS : PLOMO														
Procedencia Departamento : LIMA Distrito : LURIGANCHO - CHOSICA Referencia : H.R. 72228-041S-20		Solicitante: LUZ LÓPEZ LÓPEZ												
		Provincia: LIMA Predio : Boleta : 5987												
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Número de Muestra</th> <th>pb</th> </tr> <tr> <th>Lab.</th> <th>Claves</th> <th>ppm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1085</td> <td>alfalfa</td> <td>156.32</td> </tr> <tr> <td>1086</td> <td>papa</td> <td>136.64</td> </tr> </tbody> </table>			Número de Muestra		pb	Lab.	Claves	ppm	1085	alfalfa	156.32	1086	papa	136.64
Número de Muestra		pb												
Lab.	Claves	ppm												
1085	alfalfa	156.32												
1086	papa	136.64												
La Molina, 12 de Junio del 2020		Ing. Braulio La Torre Man Jefe de Laboratorio												

Tabla 20: Analisis de suelo con plomo

ANALISIS DE SUELOS : PLOMO														
Procedencia Departamento : LIMA Distrito : LURIGANCHO - CHOSICA Referencia : H.R. 72228-041S-20		Solicitante: LUZ LÓPEZ LÓPEZ												
		Provincia: LIMA Predio : Boleta : 7984												
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Número de Muestra</th> <th>pb</th> </tr> <tr> <th>Lab.</th> <th>Claves</th> <th>ppm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1085</td> <td>alfalfa</td> <td>148.53</td> </tr> <tr> <td>1086</td> <td>papa</td> <td>126.67</td> </tr> </tbody> </table>			Número de Muestra		pb	Lab.	Claves	ppm	1085	alfalfa	148.53	1086	papa	126.67
Número de Muestra		pb												
Lab.	Claves	ppm												
1085	alfalfa	148.53												
1086	papa	126.67												
La Molina, 30 de Junio del 2020		Ing. Braulio La Torre Man Jefe de Laboratorio												

ANALISIS DE SUELOS; FISICOQUIMICOS

Procedencia
Departamento : LIMA
Distrito : LURIGANCHO - CHOSICA
Referencia : H.R. 72228-041S-20

Provincia: LIMA
Predio :
Boleta : 2012

Solicitante: LUZ LÓPEZ LÓPEZ

Número de Muestra		ph	M.O	TEXTURA	C.E
Lab.	Claves	ph	M.O	TEXTURA	C.E
487	alfalfa	8.15	3.01	FRANCO	1.73
488	papa	7.97	2.98	FRANCO	1.86

La Molina, 28 de abril del 2020

ing. Claudio La Torre Martínez
 Jefe de Laboratorio

ANALISIS DE SUELOS; FISICOQUIMICOS

Procedencia
Departamento : LIMA
Distrito : LURIGANCHO - CHOSICA
Referencia : H.R. 72228-041S-20

Provincia: LIMA
Predio :
Boleta : 2143

Solicitante: LUZ LÓPEZ LÓPEZ

Número de Muestra		ph	M.O	TEXTURA	C.E
Lab.	Claves	ph	M.O	TEXTURA	C.E
487	alfalfa	7.98	2.99	FRANCO	1.73
488	papa	7.89	2.87	FRANCO	1.89

La Molina, 22 de Mayo del 2020

ing. Claudio La Torre Martínez
 Jefe de Laboratorio

ANALISIS DE SUELOS; FISICOQUIMICOS

Procedencia
Departamento : LIMA
Distrito : LURIGANCHO - CHOSICA
Referencia : H.R. 72228-041S-20

Provincia: LIMA
Predio :
Boleta : 2245

Solicitante: LUZ LÓPEZ LÓPEZ

Número de Muestra		ph	M.O	TEXTURA	C.E
Lab.	Claves	ph	M.O	TEXTURA	C.E
497	alfalfa	7.95	2.96	FRANCO	1.71
498	papa	7.84	2.97	FRANCO	1.93

La Molina, 20 de Junio del 2020

ing. Claudio La Torre Martínez
 Jefe de Laboratorio

ANALISIS DE AGUA

SOLICITANTE : LUZ LÓPEZ LÓPEZ
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LURIGANCHHO - CHOSICA
REFERENCIA : H.R. 72257
BOLETA : 4142

No. Laboratorio	141
No. Campo	Muestra de agua N° 1
pH	3.70
C.E. dS/m	2.04
Calcio meq/L	12.50
Magnesio meq/L	1.92
Potasio meq/L	10.46
Sodio meq/L	0.86
SUMA DE CATIONES	25.74
Nitratos meq/L	0.03
Carbonatos meq/L	0.00
Bicarbonatos meq/L	0.00
Sulfatos meq/L	6.79
Cloruros meq/L	1.90
SUMA DE ANIONES	8.72
Sodio %	3.33
RAS	0.32
Boro ppm	0.24
Clasificación	*
Plomo ppm	0.183

* agua ácida.

La Molina, 15 de Julio del 2020

*Ing. Braulio La Torre Martinez
Jefe del Laboratorio*

Figura 15: (preparando suelo)



Figura 17: (colocando lo maceteros)



Figura 19: (colocando la semilla)



Figura 20: (recimiento de las semillas de papa)



Figura 21: (recimiento de las semillas de papa)



Figura 22: (crecimiento de la papa)



