

ESCUELA DE POSGRADO NEWMAN

MAESTRÍA EN
GESTIÓN MINERA Y AMBIENTAL



**“Propuesta de mejora para el análisis de suelos remediados
para demostrar la eficiencia de la fitorremediación en el IES
Cetemin, Lima 2022”**

**Trabajo de Investigación
para optar el Grado a Nombre de la Nación de:**

Maestro en
Gestión Minera y Ambiental

Autores:

Ing. De La Rosa Soto, Derly Freddy
Ing. Soto Almeida, Joao Carlos

Docente Guía:

Mg. Leo Rossi, Ernesto Alessandro

TACNA - PERÚ

2022

“El texto final, datos, expresiones, opiniones y apreciaciones contenidas en este trabajo son de exclusiva responsabilidad del (los) autor (es)”

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se la dedico a mis padres, en especial a mi madre Rosita quien siempre me ha inspirado para que siga adelante y alcance nuevas metas y se la dedico a mi hijo Samuelito que es por quien me esfuerzo para darle lo mejor y guiarlo de la mejor manera. Agradezco a mi esposa por ser siempre un pilar importante en nuestro hogar, en la vida mía y de mi hijo.

A Dios, a mis amigos y todas las personas que me han ayudado durante mi vida personal y profesional.

Joao Carlos Soto Almeida

Este trabajo de investigación se la dedico a mis padres, en especial a mi madre Teófila y a mi padre Fredy, así como a mi hermana Gessenia, mis sobrinos Sophie y Gael y mi novia Giovanna por haberme apoyado en los momentos más difíciles y brindarme su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida para así poder cumplir con mis objetivos en el ámbito personal y profesional.

Derly Freddy De La Rosa Soto

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a mis padres por siempre haberme guiado por el camino del bien e impulsarme a desarrollar nuevas metas. A la Escuela de Posgrado Newman, a los profesores y guías que mediante el material de clases y estudio complementaron e impulsaron a que mis conocimientos crezcan en esta maestría y en mi vida profesional.

Joao Carlos Soto Almeida

Mi gratitud a la Escuela de Posgrado Newman por haberme brindado una buena enseñanza durante el tiempo que duró la maestría de Gestión Minera y Ambiental, a los profesores por impartirnos sus conocimientos y experiencias.

A nuestro señor Jesús por brindarle salud a mi familia y tenerlos conmigo en cada etapa de mi vida personal y profesional.

Derly Freddy De La Rosa Soto

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTOS	4
ÍNDICE GENERAL	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	9
ÍNDICE DE FIGURAS	11
ÍNDICE DE ANEXOS	13
RESUMEN.....	14
ABSTRACT	16
INTRODUCCIÓN.....	18
CAPÍTULO I: ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	20
1.1. Título del Tema	20
1.2. Planteamiento del Problema	20
1.3. Objetivos	21
1.3.1. General	21
1.3.2. Específicos.....	21
1.4. Justificación.....	22
1.5. Metodología.....	24
1.6. Definiciones.....	25
1.7. Alcances y Limitaciones	27
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	29
2.1. Base Legal	29
2.2. Conceptualización de las Variables.....	30

2.2.1.	El Suelo.....	30
2.2.1.1.	Propiedades Físicas del Suelo.....	31
2.2.1.2.	Propiedades Químicas del Suelo.....	33
2.2.1.3.	Propiedades Biológicas del Suelo.....	35
2.2.2.	Degradación del Suelo.....	35
2.2.3.	Suelo Contaminado.....	36
2.2.4.	Contaminación de Suelos por Metales Pesados.....	36
2.2.5.	Metales Pesados en el Sistema Suelo Planta.....	37
2.2.6.	Tecnologías Remediadoras de Suelos Contaminados por Metales Pesados	37
2.2.6.1.	Tratamientos Biológicos.....	37
2.2.6.2.	Tratamientos Físicoquímicos.....	38
2.2.7.	Fitorremediación.....	40
2.2.8.	Fitorremediación y Microorganismos.....	43
2.2.8.1.	Factores de Bioacumulación y Traslocación en la Fitorremediación	44
2.2.9.	El Problema de la Entrada de Metales Pesados en la Planta.....	46
2.2.9.1.	Dinámica de los Contaminantes en el Suelo.....	46
2.2.9.2.	Mecanismos Celulares y Detoxificación de Metales Pesados en Plantas	47
2.3.	Importancia de las Variables.....	54
2.3.1.	Características de los Contaminantes Inorgánicos.....	54
2.3.1.1.	Plomo (Pb).....	54

2.3.1.2. Cobre (Cu)	55
2.3.1.3. Zinc (Zn)	56
2.3.2. Cultivo del Maíz, Alfalfa y Girasol.....	58
2.4. Análisis Comparativo.....	59
2.4.1. Antecedentes	59
2.5. Análisis Crítico.....	61
CAPÍTULO III: MARCO REFERENCIAL	63
3.1. Reseña Histórica	63
3.2. Filosofía Organizacional	64
3.3. Diseño Organizacional	65
3.4. Diagnóstico Organizacional.....	67
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	68
4.1. Diagnóstico Preliminar (Etapas del Proyecto)	68
4.1.1. Planificación.....	68
4.1.2. Verificación del Área de Estudio	69
4.1.3. Limpieza del Área	69
4.1.4. Toma de Muestras de Suelo	70
4.1.5. Diseño de las Parcelas	71
4.1.6. Impermeabilización del Suelo	74
4.1.7. Diseño de Almácigos	75
4.1.8. Preparación del Reactivo.....	75
4.1.9. Homogenización del Suelo con el Reactivo	76

4.1.10. Trasplante de Plantas.....	78
4.2. Diseño de la Mejora (Monitoreo, Control y Toma de Datos).....	79
4.2.1. Riego de Parcelas.....	79
4.2.2. Control del Crecimiento Vegetal	80
4.2.3. Extracción de Muestras Vegetales.....	82
4.2.4. Preparación de Muestras	84
4.2.4.1. Secado de las Plantas	84
4.2.4.2. Triturado de la Muestra.....	85
4.3. Mecanismos de Control (Análisis Químico en Laboratorio).....	87
4.3.1. Digestión de las Muestras de Suelo para Análisis Químico.....	87
4.3.2. Digestión de Plantas para Análisis Químico	92
4.3.3. Materiales y Equipos.....	95
4.3.4. Cronograma de Actividades.....	97
4.3.5. Presupuesto.....	97
4.4. Resultados	98
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN Y SUGERENCIAS	104
5.1. CONCLUSIONES	104
5.2. RECOMENDACIONES.....	106
BIBLIOGRAFÍA.....	107
ANEXOS.....	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1.	Tecnologías biológicas de remediación utilizadas en suelos contaminados por metales pesados.	38
Tabla N°2.	Principales tecnologías fisicoquímicas	39
Tabla N°3.	Tabla de mecanismos de expulsión	44
Tabla N°4.	Tabla de Preparación del Reactivo.....	76
Tabla N°5.	Parcela con Concentraciones de Plomo.....	80
Tabla N°6.	Parcela con Concentraciones de Zinc	80
Tabla N°7.	Parcela con Concentraciones de Cobre	80
Tabla N°8.	Parcela con Concentraciones de Pb, Cu, Zn.....	81
Tabla N°9.	Parcela con Concentraciones de Pb, Cu, Zn.....	81
Tabla N°10.	Extracción de Muestras con Plomo	82
Tabla N°11.	Extracción de Muestras con Zinc.....	83
Tabla N°12.	Extracción de Muestras con Cobre.....	83
Tabla N°13.	Extracción de Muestras con Pb, Cu, Zn	83
Tabla N°14.	Pesaje de Muestra después de la Trituración con Plomo.....	85
Tabla N°15.	Pesaje de Muestra después de la Trituración con Zinc	86
Tabla N°16.	Pesaje de Muestra después de la Trituración con Cobre	86
Tabla N°17.	Pesaje de Muestra después de la Trituración con Pb, Cu, Zn.....	86
Tabla N°18.	Pesaje de Muestra después de la Trituración con Testigo	86
Tabla N°19.	Cronograma de Actividades	97
Tabla N°20.	Presupuesto a Nivel Piloto.....	97
Tabla N°21.	Crecimiento en Concentraciones de Plomo.....	98
Tabla N°22.	Crecimiento en Concentraciones de Zinc	98
Tabla N°23.	Crecimiento en Concentraciones de Cobre	99

Tabla N°24.	Crecimiento en Concentraciones de Pb, Cu, Zn.....	99
Tabla N°25.	Crecimiento en Concentraciones de Pb	100
Tabla N°26.	Concentración de Metales en Suelo - Parcelas Divididas	100
Tabla N°27.	Concentración de Metales en Suelo - Parcela Combinada	101
Tabla N°28.	Concentración de Metales en Plantas - Parcelas Divididas.....	101
Tabla N°29.	Concentración de Metales en Plantas – Parcela Combinada.....	101
Tabla N°30.	Concentración de Cobre - Testigo	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1.	Dinámica de contaminantes en el suelo	47
Figura N°2.	Ubicación satelital – CETEMIN_Sede "Isaac Ríos Quinteros".	64
Figura N°3.	Revisión bibliográfica.....	68
Figura N°4.	Equipo para análisis de muestras (colorímetro)	68
Figura N°5.	Verificación del área.	69
Figura N°6.	Delimitación del área.	69
Figura N°7.	Limpieza del de área temática.....	70
Figura N°8.	Homogenización de la muestra.	71
Figura N°9.	Obtención de la muestra.....	71
Figura N°10.	Medición de parcelas.	72
Figura N°11.	Excavación de parcelas.....	72
Figura N°12.	Instalación de tuberías para el drenaje de lixiviado.....	73
Figura N°13.	Diseño de la posa de lixiviado.....	74
Figura N°14.	Impermeabilización de las parcelas.	74
Figura N°15.	Preparación de suelo para la construcción del semillero.	75
Figura N°16.	División del semillero por especie vegetal.....	75
Figura N°17.	Preparación de los reactivos.	76
Figura N°18.	Homogenización del suelo con Nitrato de Pb.....	77
Figura N°19.	Homogenización de Sulfato de cobre con el suelo fértil.....	77
Figura N°20.	Homogenización de sulfato de Zinc con el suelo fértil.....	78
Figura N°21.	Trasplante de las especies vegetales.	79
Figura N°22.	Riego de parcelas de especies vegetales.	79
Figura N°23.	Medición con el alcalímetro de las especies vegetales.	81
Figura N°24.	Extracción de muestras vegetales.....	82

Figura N°25.	Secado de la muestra utilizando la estufa.....	84
Figura N°26.	Triturado de la muestra con ayuda del mortero.....	85
Figura N°27.	Tamizar la muestra y pesaje de la muestra 0.25 g.....	87
Figura N°28.	Colocar las muestras en Matraz Kjeldahl.	87
Figura N°29.	Agregar 0.3 ml de H ₂ O a las muestras.	88
Figura N°30.	Agregar 5 ml de HNO ₃ AL 70%.....	88
Figura N°31.	Calentar las muestras por un 1:30 minutos a T° 100°C.....	89
Figura N°32.	Retirar la solución de la plancha de calentamiento y dejar enfriar la solución.	89
Figura N°33.	Agregar 1.5 ml de H ₂ O ₂ AL 30%.....	90
Figura N°34.	Calentar las muestra por 45 min en baño maría T° 100°C.	90
Figura N°35.	Retirar la muestra.....	91
Figura N°36.	Filtrar las muestras y colocarlos en los tubos de ensayo para su análisis.	91
Figura N°37.	Pesar las muestras de plantas.	92
Figura N°38.	Colocar las muestras en el vaso precipitado de 250 ml.	92
Figura N°39.	Agregar 15 ml de HCl y 5 ml de HNO ₃ a las muestras.....	93
Figura N°40.	Calentar de muestras hasta que ocurra reacción química.	93
Figura N°41.	Aumentar la T°	94
Figura N°42.	Enfriar y diluir	94
Figura N°43.	Filtrar muestra para obtener solución líquida lista para el análisis.	95
Figura N°44.	Concentración de Metales en Plantas - Parcelas Divididas	102
Figura N°45.	Concentración de Metales en Plantas - Parcelas Combinadas....	103
Figura N°46.	Concentración de Cobre – Plantas Testigo.....	103

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N°1.	Ubicación del área temática	109
Anexo N°2.	Limpieza del lugar	109
Anexo N°3.	Medición de parcelas.....	109
Anexo N°4.	Limpieza de parcelas.....	109
Anexo N°5.	Impermeabilización de parcelas	110
Anexo N°6.	Implementación de tuberías y accesorios.....	110
Anexo N°7.	Capa de gravilla.....	110
Anexo N°8.	Capa de tierra.....	110
Anexo N°9.	Intersección de semillas	111
Anexo N°10.	Crecimiento de plantas.....	111
Anexo N°11.	Trasplantaste de almácigos.....	111
Anexo N°12.	Medición del crecimiento de plantas	111
Anexo N°13.	Corte de muestra vegetal	112
Anexo N°14.	Secado de muestra	112
Anexo N°15.	Triturado de muestra	112
Anexo N°16.	Rotulado y empaquetado de muestra	112
Anexo N°17.	Parcelas	113
Anexo N°18.	Plano de Ubicación del Área Temática	113

RESUMEN

El presente trabajo de grado evalúa la capacidad de absorción de metales pesados como plomo, cobre y zinc mediante la siembra de tres especies vegetativas: Maíz (*Zea mays*), Girasol (*Helianthus annuus*) y alfalfa (*Medicago sativa*); las tres especies son germinadas en semilleros, usando arena, y serán replantadas en suelos contaminados con concentraciones de metales pesados en el suelo del IES Cetemin, esto con la finalidad de determinar la cantidad que ha sido absorbida de los contaminantes en diferentes tiempos acorde a la evolución del crecimiento vegetativo. La determinación de la absorción vegetativa se realiza utilizando la técnica de digestión ácida, en la cual se realiza la cuantificación utilizando equipos especiales como el colorímetro portátil DR900.

La absorción de los metales pesados en el suelo se verá influenciada directamente por la biomasa generada en cada una de las plantas. La mayor parte de las especies utilizadas en el estudio presentarán una adecuación rápida y desarrollo continuo en las diferentes parcelas demostrativas de este trabajo que contienen concentraciones de cobre y zinc, lo que se diferenciará con las parcelas de tierra con concentraciones de plomo, donde las especies vegetales presentarán una variación deficiente en crecimiento y desarrollo.

Por lo cual, estos factores involucran un problema potencial en seguridad y salud alimentaria, debido a que se evidencia una degradación deficiente y/o retención del contaminante en la estructura vegetativa, provocando una cadena en la contaminación de animales y humanos por consumo de estas plantas, razón por la

cual se plantea poder implementar a nivel piloto una propuesta de mejora con un costo estimado de S/. 1,417.18, en este trabajo y así poder demostrar la eficiencia de la fitorremediación.

En las últimas décadas, estudios e investigaciones han demostrado que es posible la recuperación de suelos contaminados con metales pesados mediante tecnologías pasivas y de bajo costo que se detallan en este trabajo y pueden ser implementado en +/- 6 meses mediante el proceso de fitorremediación en el cual en este trabajo se ha utilizado tres especies vegetativas como el Maíz, Girasol y Alfalfa, que a través de la fitoextracción y acumulación en la biomasa permiten la estabilización de los suelos.

Palabras claves: metales, plomo, cobre, zinc, fitorremediación

ABSTRACT

This present work evaluates the absorption capacity of heavy metals such as lead, copper and zinc by planting three vegetative species: Corn (*Zea mays*), Sunflower (*Helianthus annuus*) and alfalfa (*Medicago sativa*); The three species are germinated in seedbeds, using sand, and will be replanted in contaminated soils with concentrations of heavy metals in the soil of the IES Cetemin, this in order to determine the amount that has been absorbed of the contaminants at different times according to the evolution of vegetative growth. The determination of the vegetative absorption is carried out using the acid digestion technique, in which the quantification is carried out using special equipment such as the DR900 portable colorimeter.

The absorption of heavy metals in the soil will be directly influenced by the biomass generated in each of the plants. Most of the species used in the study will present a rapid adaptation and continuous development in the different demonstration plots of this work that contain concentrations of copper and zinc, which will differ from the plots of land with concentrations of lead, where the species Plants will exhibit poor variation in growth and development.

Therefore, these factors involve a potential problem in food safety and health, due to the fact that there is evidence of deficient degradation and/or retention of the contaminant in the vegetative structure, causing a chain in the contamination of animals and humans due to the consumption of these plants. , which is why it is proposed to implement an improvement proposal with an estimated cost of S/. 1,417.18, in this work and thus be able to demonstrate the efficiency of phytoremediation.

In recent decades, studies and research have shown that it is possible to recover soils contaminated with heavy metals through passive and low-cost technologies that are detailed in this work and can be implemented in +/- 6 months through the phytoremediation process in the which in this work has been used three vegetative species such as Maize, Sunflower and Alfalfa, which through phytoextraction and accumulation in biomass allow soil stabilization.

Key words: metals, lead, copper, zinc, phytoremediation

INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de biorremediación, como la fitorremediación de suelos, se han revelado a necesidad apremiante, ya que permiten rescatar los ambientes contaminados por metales pesados e impedir su continua toxicidad acerca los organismos vivos. De manera cotidiana estamos expuestos a los efectos de gran multiplicidad de metales pesados y estos provienen del agua distribuida, los alimentos incluso del aire, el cual puede tener altas concentraciones por su continuidad a diferentes fuentes de emisiones. (Biotech, 2018)

Incluso hace algunos años, las únicas tecnologías de descontaminación de suelos estaban basadas en técnicas fisicoquímicas que, en muchas ocasiones, conllevan un elevado costo y exceso de energía, un impacto dañino, a menudo irreversible, hacia la integridad y funcionalidad de los suelos. Por tanto, en los últimos años, han surgido un acervo de tecnologías biológicas de descontaminación de suelos de las que se puede recalcar la fitorremediación, mediante la utilización de plantas para eliminar compuestos contaminantes. (Acción, 2008)

El presente Trabajo de Investigación tiene como objetivo general analizar las muestras de suelos remediados con el colorímetro portátil para demostrar la eficiencia de la fitorremediación en el IES Cetemin.

En el I Capítulo se presenta el planteamiento y formulación del problema, así como los objetivos generales y específicos, la metodología, la justificación, culminando con los alcances y limitaciones.

En el II Capítulo se presenta el marco teórico donde se incluyen las bases teóricas, las variables y los análisis comparativo y crítico.

En el III Capítulo se presenta el marco referencial de la institución, la reseña histórica, la filosofía, diseño y diagnóstico organizacional.

En el IV Capítulo se presenta los resultados de los análisis de los suelos remediados con plantas como maíz, girasol y alfalfa haciendo uso de las técnicas de fitorremediación y demostrar la eficiencia de remoción de los metales pesados como el cobre, plomo y zinc.

En el V Capítulo se presentan todas las sugerencias que se encontraron al momento de realizar el trabajo de investigación.

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

1.1. Título del Tema

Propuesta de mejora para el análisis de suelos remediados para demostrar la eficiencia de la fitorremediación en el IES Cetemin, Lima 2022.

1.2. Planteamiento del Problema

Las actividades geológicas y antropogénicas son fuentes de contaminación por metales pesados (Dembitsky, 2003). Las fuentes de contaminación antropogénica por metales incluyen efluentes industriales, producción de combustible, minería, procesos de fundición, operaciones militares, utilización de productos químicos agrícolas, industrias de pequeña escala (incluyendo la producción de baterías, productos metálicos, fundición de metales e industrias de revestimiento de cables), hornos de ladrillos y combustión de carbón (Uruguay, 2010).

Una de las fuentes prominentes que contribuyen al aumento de la carga de contaminación del suelo es la eliminación de desechos municipales. Estos desechos se vierten en los bordes de las carreteras o se utilizan como vertederos, mientras que las aguas residuales se utilizan para el riego.

Estos desechos, aunque útiles como fuente de nutrientes, también son fuentes de carcinógenos y metales tóxicos. Otras fuentes pueden incluir la aplicación insegura o excesiva de pesticidas, fungicidas y fertilizantes (a veces prohibidos) (Natalia Rodríguez Eugenio, 2019). Fuentes potenciales

adicionales de los metales pesados incluyen agua de riego contaminada por aguas residuales y efluentes industriales que conducen a suelos y vegetales contaminados (Bridge, 2004)

1.3. Objetivos

1.3.1. General

- Analizar las muestras de suelos remediados con el colorímetro portátil para demostrar la eficiencia de la fitorremediación en el IES Cetemin.

1.3.2. Específicos

- Aplicar y conocer el método de fitorremediación, para la remoción de metales (Cu, Zn, Pb) en el suelo.
- Preparar las muestras para el análisis químico de suelo y plantas
- Aplicar las técnicas de análisis espectrofotométrico para analizar las muestras de suelo y plantas.
- Comparar los resultados de análisis de suelos con el requisito legal vigente
- Comparar la eficiencia de remoción de metales presentes en el suelo por cada planta (Girasol, Alfalfa, Maíz), utilizando el colorímetro portátil.
- Aplicar la metodología de muestreo de suelos contaminados por metales pesados
- Realizar análisis estadístico con los resultados obtenidos.

1.4. Justificación

El propósito de este trabajo es demostrar la eficiencia de la fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados mediante el uso de diversas plantas de nuestro país, así reducir la contaminación con metales y beneficiar a otras regiones con climas similares con los problemas de contaminación y aplicar los resultados obtenidos en otras áreas geográficas.

Los metales pesados entre sus característica comunes llegan a tener una densidad muy alta. Esta denominación tiene connotaciones de contaminación o toxicidad, sin embargo, la presencia de metales pesados como Cu, Pb, Zn puede llegar a limitar el crecimiento vegetal y/o ser tóxicos para las plantas, animales y seres humanos. Además, incluso elevadas concentraciones de elementos esenciales pueden causar efectos negativos sobre los seres vivos.

La fitotoxicidad producida por la elevada manifestación de metales pesados, que afecta al desarrollo y crecimiento de la vegetación, es debido a la toxicidad intrínseca de los metales y a la acumulación de cada uno de ellos. Las principales vías de ingreso de los metales a las plantas son a través de los cuerpos receptores, siendo las plantas los más vulnerables.

Los problemas ambientales en los países relacionados a la minería del cobre y plomo se originan en diferentes etapas del proceso productivo. Un ejemplo es el caso del complejo metalúrgico de la Oroya (Doe Run), las emisiones de las fundiciones de cobre y plomo han sido fuente importante de

contaminación en las zonas donde se instalaron y en el afluente del río Mantaro fronterizo a la fundición de La Oroya cuyas aguas sirven para el riego de plantación de grandes hectáreas en el Valle del Mantaro. El contaminante principal es el plomo, el cual es emitido a la atmósfera como PM10 que se deposita en todo el suelo y se incorpora en los ciclos de los ecosistemas.

En las últimas décadas estudios e investigaciones han demostrado que es posible la recuperación de suelos contaminados con metales pesados mediante tecnologías pasivas y de bajo costo como el proceso de fitorremediación que a través de la fitoextracción y acumulación en la biomasa permite la estabilización de los suelos.

Analizar qué tan efectivo es la remediación de suelos contaminados por metales pesados mediante el uso de diversas plantas de nuestro país.

La modelación del sistema dinámico que se plantea tiene como propósito simular la conducta de los metales pesados como el plomo (pb), cobre (Cu) y Zinc (Zn) en la fisiología de las plantas y los ecosistemas circundantes.

La presente investigación se justifica en generar puntos de partida mediante la aplicación de biotecnologías de bajo costo para la recuperación a mediano y largo plazo los suelos contaminados con metales pesados.

1.5. Metodología

La metodología a usar en este trabajo de investigación es Cuantitativa Experimental. En este trabajo se investigará el potencial de crecimiento de las plantas (maíz, girasol, alfalfa) y la absorción de los metales contaminantes del suelo contaminado artificialmente para demostrar la eficacia de la fitorremediación en las parcelas creadas dentro del IES Cetemin.

Se tendrá que considerar aspectos importantes como el recurso humano y recurso materiales. Adicional se deberá realizar un seguimiento semanal del crecimiento de las plantas en las parcelas y se detallarán ordenadamente en las tablas de crecimiento por contaminante versus tiempo.

Las muestras de las plantas serán almacenadas y etiquetadas en recipientes para llevar un control adecuado y evitar confusiones de las muestras y veracidad de la información obtenida en cada muestra de suelo y de las plantas.

La metodología experimental para el análisis de las muestras de suelo y plantas se las realizará con instrumentos de laboratorio y tomando en cuenta el uso de equipo de protección personal para manejo y/o exposición de químicos en el laboratorio. Se utilizará el colorímetro como instrumento de medición para el análisis de las muestras de los suelos previo al estudio y posterior al haber sembrado las especies vegetales (Maíz, Girasol y Alfalfa) y así validar que se produjo una Fitoextracción en las plantas y una disminución en las concentraciones de contaminantes de los suelos de las parcelas.

1.6. Definiciones

Absorción: Proceso en el cual los iones y moléculas presentes en una fase tienden a condensarse y concentrarse en la superficie de otra fase.

(Ambientum, s.f.)

Fitoextracción: Proceso en el que se usa las plantas para concentrar metales en las partes cosechables principalmente en las partes aéreas. (Ambientum,

s.f.)

Fitorremediación: Método que se sirve de la vegetación y la microbiota asociada para el tratamiento in situ de los suelos, sedimentos y aguas contaminadas por contaminantes inorgánicos como metales y compuestos orgánicos como el herbicidas, pesticidas e hidrocarburos. (Ambientum, s.f.)

Metales pesados: Metales de número atómico elevado, como cadmio, hierro, manganeso, mercurio, níquel, plomo y zinc que son tóxicos en concentraciones reducidas y tienden a la bioacumulación. (Ambientum, s.f.)

Revegetación: Plantación o siembra de especies vegetales en terrenos alterados restablecimiento de la cobertura vegetal con herbáceas.

(Ambientum, s.f.)

Bioacumulación: Concentración que resulta de la acumulación de varios factores que dañan al medio ambiente y/o a los tejidos del cuerpo humano a

partir de la adsorción, dispersión y eliminación de carga contaminante que fueron obtenidos por las diferentes rutas de exposición. (Ambientum, s.f.)

Contaminante: Elemento químico que no pertenece al cuerpo receptor, cuya concentración elevada pone en riesgo el nivel de fondo que es susceptible de causar efectos tóxicos a las personas y el medio ambiente. (Ambientum, s.f.)

Nivel de Remediación: Concentración elevada de un químico de interés fijo de manera específica para las condiciones de la situación, a través del estudio de valoración de riesgos a la salubridad de las personas y el medio ambiente. (Ambientum, s.f.)

Plan de Descontaminación de Suelos: Una herramienta de gestión ambiental que tiene como objetivo eliminar los impactos ambientales causados por una o más actividades pasadas o presentes en el suelo. Los tipos de acciones correctivas que se pueden aplicar individualmente o en combinación son acciones correctivas para eliminar contaminantes del sitio, dispersión de contaminantes, uso sostenible de la tierra y planes de monitoreo del suelo. (Ambientum, s.f.)

Remediación: Tarea o conjunto de tareas a desarrollarse en un sitio contaminado con la finalidad de eliminar o reducir contaminantes, a fin de asegurar la protección de la salud humana y la integridad de los ecosistemas. (Ambientum, s.f.)

Sitio contaminado: Aquel suelo cuyas características químicas han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias químicas contaminantes depositadas por la actividad humana, en concentraciones muy altas representan un riesgo para las personas y el medio ambiente. (Ambientum, s.f.)

Suelo contaminado: Suelo cuya química ha sido afectada adversamente por la presencia de contaminantes depositados por actividades humanas, según lo establecido en el D.S. N°002-2013-MINAM. (Ambientum, s.f.)

Suelo industrial/extractivo: Es un tipo de suelo donde se aprovechan los recursos naturales con los diferentes sectores productivos y de extracción para generar un bien o servicio. (Ambientum, s.f.)

1.7. Alcances y Limitaciones

La modelación del sistema dinámico que se plantea tiene como propósito simular la conducta de los metales pesados como el plomo (pb), cobre (Cu) y Zinc (Zn) en la fisiología de las plantas y los ecosistemas circundantes. La presente investigación se justifica en generar puntos de partida mediante la aplicación de biotecnologías de bajo costo para la recuperación a mediano y largo plazo los suelos contaminados con metales pesados mediante un estudio realizado en campo tomando muestras del suelo y análisis de variaciones de las concentraciones de los metales en el suelo a medida que van creciendo las plantas.

A pesar que la fitorremediación tiene un enfoque prometedor para la remediación de suelos contaminados con metales pesados, también sufre algunas limitaciones pues puede requerir tiempos largos para limpieza debido a su lenta tasa de crecimiento y su baja biomasa, y es aplicable en sitios con niveles bajos a moderados con contaminación de metales pues el crecimiento de las plantas no se sostiene en suelos contaminados y en también podría existir un riesgo de contaminación en la cadena alimentaria en caso de una mala gestión y a la falta de atención adecuada.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Base Legal

- Ley N°28611, Ley General del Ambiente.
- Ley N°27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental
- Ley N°29243 Ley que Regula la Declaratoria de Emergencia Ambiental.
- Ley N°28305, Ley de Control de Insumos Químicos y Productos Fiscalizados.
- LeyN°28271, Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera.
- Ley 27104, Ley de Prevención de Riesgos derivados del uso de la Biotecnología.
- D.S. N°011-2017-MINAM, Estándar de Calidad Ambiental (ECA) Suelo.
- D.S. N°019-2009-MINAM, Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental
- D.S. N°024-2008-PCM, Reglamento que Regula la Declaratoria de Emergencia Ambiental.
- D.S. N°053-2005-PCM, Reglamento de la Ley de Control de Insumos Químicos y Productos Fiscalizados.
- D.S. N° 012-2017-MINAM, Aprueban Criterios para la Gestión de Sitios Contaminados.
- D.S. N°059-2005-EM, Reglamento de pasivos ambientales de la actividad minera.

- D.S. N°108-2002-PCM, Reglamento de la Ley de Prevención de Riesgos derivados del uso de la Biotecnología.
- RM N°085–2014 –MINAM, Guía para muestreo de suelos.

2.2. Conceptualización de las Variables

2.2.1. El Suelo

La capa superficial de la corteza terrestre que se forma como resultado de largos procesos de meteorización y proporciona un entorno natural para el crecimiento de las plantas terrestres. Es un sistema abierto, dinámico constituido por tres fases (sólida, líquida y gaseosa) y se pueden distinguir en el cuatro componentes: material orgánico, inorgánico, material inorgánico, agua, aire, los cuales están íntimamente ligados y mezclados entre sí, dando origen a un ambiente ideal para el crecimiento de las plantas (García G. N., 2003)

Para la Agencia Europea de Medio Ambiente (2004), el suelo es un sistema natural único y organizado que es el resultado de la acción combinada del clima y los organismos, la vegetación, el relieve y el tiempo, constituye una matriz de componentes orgánicos y minerales que engloban una red porosa por donde circula líquidos y gases albergando numerosas poblaciones de organismos vivos en una situación de equilibrio dinámico.

2.2.1.1. Propiedades Físicas del Suelo

A) Profundidad: La profundidad efectiva del suelo es el espacio a través del cual las raíces normales de las plantas pueden penetrar sin mayor obstrucción para obtener agua y nutrientes esenciales. Las plantas toleran mejor la sequía en suelos más profundos. Esto se debe a que cuanto más profundo es el suelo, mayor es su capacidad para retener agua. (FAO, 2011)

B) Color: El color del suelo depende de su composición y depende del contenido de agua de la materia orgánica presente. El grado de oxidación mineral presente se puede evaluar como una medida indirecta a una profundidad de suelo determinada. Se utiliza para distinguir secuencias de perfiles de suelo, determinando el origen de la materia prima, la presencia de materia orgánica, el estado de drenaje y la presencia de sales y carbonatos. (FAO, 2011)

C) Textura: La textura se refiere a la proporción de componentes inorgánicos en diferentes formas y tamaños, como arena, lino y arcilla. La textura es una propiedad importante porque afecta la fertilidad elemental y la capacidad de retener humedad, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades. Los triángulos de textura del suelo de la FAO se utilizan como herramienta para clasificar las texturas del suelo. (FAO, 2011)

D) Estructura: Las partículas de suelo texturizado como arena, limo y arcilla se combinan en agregados y unidades más grandes llamadas agregados. La estructura del suelo afecta directamente la aireación, la transferencia de humedad del suelo, la conducción de calor, el crecimiento de las raíces y la resistencia a la erosión. El agua es un componente básico que afecta en gran medida la estructura del suelo a través de su disolución y precipitación mineral. (FAO, 2011)

E) Porosidad: El espacio poroso del suelo es el porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. En general, el volumen del suelo se compone de un 50 % de materia sólida (45 % de minerales y 5 % de materia orgánica) y un 50 % de porosidad. Dentro del espacio poroso, se distinguen macroporos y microporos para hacer circular o retener agua, nutrientes, aire y gases. (FAO, 2011)

F) Disponibilidad de agua en el suelo: Cuando los campos se inundan, el agua reemplaza la capa de aire en el suelo. La capacidad de campo es la cantidad de agua en el suelo que puede retenerse después de la saturación y drenaje libre evitando la evapotranspiración hasta que el potencial hídrico se estabilice (después de 24-48 horas de lluvia o riego). El agua, que ocupa un espacio poroso más grande, es expulsada hacia abajo por gravedad. Los poros más pequeños están llenos de agua y los poros más grandes están llenos de aire y agua. (FAO, 2011)

G) Retención de agua en el suelo: Las distribuciones de tamaño de partículas se utilizan ampliamente para estimar las curvas de retención de agua del suelo. Haverkamp y Parlange (1986) señalan que las curvas de retención se pueden estimar directamente a partir de los datos de tamaño de poro, suponiendo una distribución logarítmica normal del tamaño de poro y la distribución de poro en suelos arenosos. (FAO, 2011)

2.2.1.2. Propiedades Químicas del Suelo

Entre los principales parámetros químicos del suelo tenemos: pH, Conductividad eléctrica, incapacidad de intercambio catiónico.

A) pH: El potencial de hidrógeno, determina el grado de absorción de iones (H^*) por las partículas del suelo e indica si el suelo es ácido o básico. Es un indicador clave de la disponibilidad de nutrientes para las plantas, incluida la solubilidad, movilidad, disponibilidad, otros constituyentes e impurezas inorgánicas presentes en el suelo. El pH del suelo varía de 3,5 (muy ácido) a 9,5 (muy básico). Los suelos muy ácidos (< 5,5) tienden a tener altos niveles tóxicos de aluminio y manganeso y contienen niveles altamente tóxicos. Los suelos muy alcalinos (> 8,5) tienden a dispersarse. Los suelos con alta acidez suprimen la actividad de los organismos del suelo y el pH ideal para los cultivos es 6.5.

B) Conductividad Eléctrica: La conductividad eléctrica utiliza las propiedades conductoras de las sales para medir la capacidad del suelo para conducir electricidad. Por lo tanto, EC mide la concentración de sales solubles presentes en las soluciones del suelo. Cuanto mayor sea el valor, más fácil será que la corriente fluya a través del mismo suelo debido a la mayor salinidad. La unidad utilizada para medir CE es ds/m (decisiemens por metro).

C) Capacidad de Intercambio Catiónico: La capacidad de intercambio catiónico es una medida de la cantidad de carga negativa en la superficie de los componentes minerales y orgánicos (arcillas, compuestos orgánicos, sustancias húmicas) de los suelos y los cationes (Ca, Mg, Na, K, NH₄, etc.) que los superficie puede almacenar.) Estos son liberados por las raíces a cambio de otros cationes o iones de hidrógeno presentes en la solución del suelo. Los niveles de CIC incluyen la capacidad de retener cationes, la disponibilidad y cantidad de nutrientes en las plantas. Los suelos con CIC más bajos tienen una menor capacidad para retener nutrientes y son arenosos o bajos en materia orgánica. La unidad de medida para CIC es centimoles de carga por kilogramo de suelo (mol/kg). (INTAGRI, 2017).

2.2.1.3. Propiedades Biológicas del Suelo

Las propiedades biológicas del suelo están relacionadas con la presencia de materia orgánica y animales como microorganismos, lombrices e insectos. Ayudan a definir su utilidad. Las propiedades biológicas son muy importantes. Debido a que consisten en macro y microfauna del suelo, como hongos, bacterias, nematodos, insectos y lombrices, mejoran las condiciones del suelo al promover su descomposición y promover la mineralización del suelo. , materia orgánica, también se producen procesos antagónicos y sinérgicos entre ellos, lo que permite un equilibrio entre las poblaciones dañinas y beneficiosas, reduciendo así la infestación de plagas de las plantas. (Ferlini, 2017).

2.2.2. Degradación del Suelo

La degradación de la tierra es un proceso involucrado en la actividad humana que reduce las capacidades actuales y/o futuras. Las actividades agrícolas e industriales son las principales causas de la degradación. La agricultura se ha desarrollado gracias a muchos factores, como la introducción de variedades, el manejo del suelo, los sistemas de riego y el uso de pesticidas y maquinaria. Esto conduce, entre otras cosas, a la incorporación de residuos orgánicos e inorgánicos al suelo más allá de la capacidad del suelo para absorber estos desechos, lo que representa un grave riesgo de degradación del suelo. (Munive, Scientia Agropecuaria, 2018)

2.2.3. Suelo Contaminado

Según la Guía de Muestreo de Suelos, suelo contaminado se define como suelo que ha sido alterado negativamente en sus propiedades químicas por la presencia de contaminantes acumulados por actividades humanas, concentraciones que exceden los estándares de calidad ambiental y representan un riesgo para la salud de las personas o al medio ambiente, ECA-suelo es el nivel de concentración o parámetro fisicoquímico biológico presente en el receptor (suelo) que no presenta riesgo de exceder los límites aceptables de ECA. (Munive, Scientia Agropecuaria, 2018)

2.2.4. Contaminación de Suelos por Metales Pesados

La contaminación del suelo por metales pesados está asociada fundamentalmente a diversos tipos de actividades humanas (agricultura, industria, minería, ciudades) y también tiene su origen en fuentes naturales (erupciones volcánicas, incendios naturales, etc.). Los metales pesados son un grupo de elementos químicos, de 118 elementos conocidos, 40 son metales pesados y tienen densidades superiores a (4 g/cm³). (J.Falcon, 2016)

2.2.5. Metales Pesados en el Sistema Suelo Planta

Cuando el contenido de metales pesados en el suelo excede los estándares de calidad ambiental, inhibe el crecimiento normal, el desarrollo de las plantas y la interrupción funcional de otros componentes ambientales, y reduce las poblaciones microbianas en el suelo, presentes en el suelo como compuestos de metales solubles como óxidos, carbonatos, e hidróxidos, mediante la formación de enlaces entre metales y grupos (sulfhídricos), mediante el bloqueo de su actividad biológica, es decir, desactivación de enzimas encarnar directamente sobre los organismos.) de proteínas que causan daño irreversible en una variedad de organismos. (Munive, Scientia Agropecuaria, 2018)

2.2.6. Tecnologías Remediadoras de Suelos Contaminados por Metales Pesados

2.2.6.1. Tratamientos Biológicos

También conocida como tecnología de biorremediación, utiliza organismos (plantas, hongos, bacterias, etc.) para degradar, transformar o eliminar compuestos orgánicos tóxicos, dependiendo de la actividad catabólica del organismo y su capacidad natural para utilizar contaminantes, como alimento y uso fuente de energía.

Tabla N°1. Tecnologías biológicas de remediación utilizadas en suelos contaminados por metales pesados.

TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS				
Tecnología – Descripción	Objetivo de remediación	Aplicación	Matriz	Contaminantes tratados
<p>Fitorremediación / Fitorrecuperación Remoción transferencia, estabilización, concentración y/o destrucción de contaminantes (orgánicos e inorgánicos) presentes en el suelo, lodos y sedimentos, mediante la utilización de especies vegetales. Son mecanismos de fitorremediación, la Fito degradación, la Fito volatilización y la Fito estabilización.</p>	Descontaminación Contención	In Situ Ex situ	Suelos Sedimentos	Metales, pesticidas, solventes, explosivos, hidrocarburos aromáticos policíclicos, crudo
<p>Biotransformación de metales Inmovilización y/o transformación microbiana de metales u otros compuestos inorgánicos presentes en suelos contaminados mediante mecanismos de oxidación, reducción, metilación, dimetilación, formación de complejos, biosorción y/o acumulación intracelular, entre otros.</p>	Descontaminación	In Situ	Suelo	Metales

Fuente: (Chile, 2019)

2.2.6.2. Tratamientos Físicoquímicos

Los tratamientos físicoquímicos aprovechan las propiedades físicas y/o químicas de los contaminantes o del ambiente contaminado al destruir, separar o concentrar los contaminantes. Este tipo de técnicas son generalmente económicas y se pueden completar en un corto período de tiempo, pero el uso de técnicas de separación que requieren tratamiento o eliminación final de contaminantes puede aumentar los costos.

Tabla N°2. Principales tecnologías fisicoquímicas

TRATAMIENTOS FISICO-QUIMICO				
Tecnología - Descripción	Objetivo de remediación	Aplicación	Matriz	Contaminantes tratados
<p>Adición de Enmiendas</p> <p>Reducción de la movilidad y biodisponibilidad de sales y metales pesados mediante la adición de sustancias orgánicas e inorgánicas al suelo contaminado. Las enmiendas aportan, además, nutrientes al medio; desempeñando un papel importante en la restauración de las propiedades físicas, químicas y biológicas de suelos altamente degradados.</p>	Descontaminación	In Situ	Suelos	Fundamentalmente sales y metales
<p>Estabilización Físico Químico</p> <p>Limitación de la solubilidad o movilidad del contaminante generalmente por la adición de materiales como cemento hidráulico, Cal o polímeros, que aseguran que los constituyentes peligrosos se mantengan en su forma menos móvil o tóxica. El suelo contaminado recibe un pre tratamiento para eliminar la fracción gruesa y luego se mezcla en tanques con agua y una serie de aditivos o agentes estabilizantes.</p>	Confinamiento	Ex Situ	Suelos	Fundamentalmente compuestos inorgánicos como metales pesados, limitada eficacia para contaminantes orgánicos y pesticidas
<p>Remediación Electrocínética</p> <p>Movilización de agua, iones y partículas pequeñas cargadas inducida mediante la aplicación de una corriente eléctrica de baja intensidad entre electrodos introducidos in situ en el suelo contaminado. Durante el tratamiento, los contaminantes pueden ser transportados por electro migración (movimiento de iones hacia el electrodo de carga opuesta), Electroósmosis (movimiento del agua respecto a la superficie cargada de las partículas del suelo), electrolisis (movimiento de iones como respuesta a una diferencia de potencial) y electroforesis.</p>	Descontaminación	In Situ	Suelos	Especialmente metales solubles o complejados

Fuente: (Chile, 2019)

2.2.7. Fitorremediación

Más completamente, la fitorremediación es un enfoque basado en el campo para reducir la concentración o el riesgo de contaminantes orgánicos e inorgánicos en el suelo, los sedimentos, el agua y el aire a partir de procesos bioquímicos llevados a cabo por las plantas y los microorganismos asociados. Puede definirse como una tecnología sostenible basada en el uso de las plantas. Penetra en el sistema radicular para reducir, mineralizar, descomponer, volatilizar y estabilizar varios tipos de contaminantes. En los últimos años se ha desarrollado nueva terminología basada en el papel que juegan las plantas durante el proceso de reparación y los principales mecanismos implicados, definiendo estrategias de fitorremediación como:

Fito degradación o Fito transformación: Descompone diversos tipos de contaminantes orgánicos como hidrocarburos aromáticos polinucleares, hidrocarburos totales de petróleo, pesticidas (herbicidas, insecticidas, fungicidas), compuestos clorados, explosivos, tensioactivos (detergentes) o en base al uso de plantas para transformar. Estos contaminantes son parcial o totalmente degradados o transformados a través de reacciones enzimáticas llevadas a cabo por plantas y microorganismos en la rizosfera, la zona del suelo que está íntimamente conectada con las raíces de las plantas. De esta manera, son asimilados por las plantas y secuestrados en vacuolas o anclados en estructuras celulares insolubles como la lignina.

Fito estimulación: en este caso, los exudados de las raíces de las plantas estimulan el crecimiento de microorganismos que pueden descomponer los contaminantes orgánicos. Como parte de su actividad metabólica y fisiológica, las plantas liberan y transportan azúcares simples, aminoácidos, compuestos alifáticos y aromáticos, nutrientes, enzimas y oxígeno desde las puntas hasta las raíces, promoviendo el desarrollo de comunidades microbianas en el suelo circundante. . hongos y bacterias especialmente cuya actividad metabólica provoca la mineralización de las impurezas.

Fito volatilización: Algunas plantas pueden volatilizar ciertos contaminantes como el mercurio y el selenio en el suelo, los sedimentos o el agua, y se liberan a la atmósfera en una forma que es menos volátil, menos tóxica o peligrosa que su forma oxidada. La transformación de estos elementos se produce básicamente en las raíces y su liberación se produce durante la transpiración.

Fito estabilización: Este tipo de estrategia utiliza plantas que desarrollan sistemas de raíces densos para reducir la biodisponibilidad de metales y otros contaminantes ambientales a través de mecanismos de secuestro, lignificación o humectación. Las plantas proporcionan control hidráulico en áreas contaminadas. En otras palabras, la planta actúa como una bomba solar, succionando agua del suelo debido a su alta tasa de evaporación. El proceso también mantiene constante la humedad en la zona de la rizosfera, creando condiciones favorables para la inmovilización del metal.

Esto puede ocurrir a través de reacciones químicas como la precipitación o la formación de complejos insolubles, o mecanismos físicos como la adsorción. En esta zona, los metales están fuertemente anclados en las raíces de las plantas o en la materia orgánica del suelo, lo que limita su biodisponibilidad y migración vertical a la capa freática.

Fitoextracción o Fito acumulación: Esta estrategia se aprovecha de la capacidad de algunas plantas para acumular impurezas en sus raíces, tallos u hojas fácilmente cosechables. Los contaminantes extraídos son principalmente metales pesados, pero también se pueden extraer ciertos tipos de contaminantes orgánicos, elementos radiactivos e isótopos. Los sistemas de extracción de plantas se implementan comúnmente para extraer metales del suelo contaminado por plantas conocidas como plantas de metales o acumuladores de metales. Sin embargo, también se puede utilizar para tratar aguas residuales.

Rizo filtración: se basa únicamente en el cultivo de raíces de plantas terrestres con altas tasas de crecimiento y áreas de superficie para absorber, concentrar y precipitar metales pesados de aguas residuales contaminadas. Como se puede observar, las estrategias de fitorremediación se refieren a los mecanismos dominantes llevados a cabo por la propia planta, pero en algunos casos también al papel que juega la comunidad microbiana durante el proceso de reparación. La fitorremediación surge, así como un proceso complejo que involucra a las comunidades microbianas asociadas a su sistema radicular. Cada

estrategia tiene requisitos específicos, determinados principalmente por la naturaleza del contaminante y el sustrato que se está tratando (suelo, sedimento o agua). En general, las acciones correctivas para los contaminantes orgánicos incluyen la Fito degradación (o Fito transformación) y la Fito irritación, mientras que los metales pesados, incluidos los metaloides, los radionúclidos y ciertos tipos de contaminantes orgánicos, incluyen la Fito volatilización, la estabilización de plantas, la extracción de plantas y la filtración en espiral. (A.Nuñez.L, 2004)

2.2.8. Fitorremediación y Microorganismos

Las bacterias han desarrollado varios mecanismos de resistencia para soportar los efectos nocivos de los metales tóxicos (Silver, 2005).

Entre ellos se encuentran principalmente los que involucran:

- a) Componentes celulares que eliminan iones y neutralizan su toxicidad.
- b) Enzimas que modifican el estado redox de metales o metaloides, convirtiéndolos a formas menos tóxicas.
- c) Transportadores de membrana que expulsan especies nocivas del citoplasma de las células.

En este estudio solo se considera el mecanismo de salida. Con la disponibilidad de secuencias genómicas completas, ahora hay una gran cantidad de información sobre genes que codifican transportadores de metales pesados, muchos de los cuales se han caracterizado bioquímica y estructuralmente.

Tabla N°3. Tabla de mecanismos de expulsión

Gen/operon	Iones transportados	Mecanismos de expulsión
arsAB	AsO ₂ ⁻	ATPasa
arsB	AsO ₂ ⁻	Quimiosmótico
cadA	Cd ²⁺	ATPasa tipo P
chrA	CrO ₄ ²⁻	Quimiosmótico
copA	Cu ⁺	ATPasa tipo P
cusCFBA	Cu ⁺	Quimiosmótico, RND
czcCBA	Cd ²⁺ , Zn ²⁺ , CO ₃ ²⁻	Quimiosmótico, RND
czcD	Cd ²⁺	Quimiosmótico, CDF
nccCBA	Ni ²⁺ , Co ²⁺ , Cd ²⁺	Quimiosmótico, RND
pbrA	Pb ²⁺	ATPasa tipo P
silCBA	Ag ⁺	Quimiosmótico, RND
silP	Ag ⁺	ATPasa tipo P
zitA	Zn ²⁺	ATPasa tipo P
zitB	Zn ²⁺	Quimiosmótico, CDF

Fuente: (C Cervantes, 2006)

2.2.8.1. Factores de Bioacumulación y Traslocación en la Fitorremediación

A) Factor de Bio concentración (BCF):

También conocido como factor de bioconcentración (BF), coeficiente de bioadsorción (BAC), coeficiente de transferencia (TC), factor de concentración (Cf) o factor de bioacumulación (BAC). Se utiliza para medir la capacidad de las plantas (raíces y partes aéreas) para absorber metales en relación con sus concentraciones en el suelo. En las plantas, el BCF se utiliza como una medida de la eficiencia de acumulación de metales en la biomasa, con valores superiores a 1 que indican que la especie está potencialmente sobre acumulando (Audet, 2007), excluyéndose las especies que tienen un BCF inferior a 1. Menos es más exclusividad. A continuación, se describen dos factores de bioconcentración:

- Factor de bioconcentración en raíces de plantas. También conocido como factor de concentración biológica (BCF) o factor de acumulación de raíces (RAF).
- Factor de bioconcentración en partes aéreas de las plantas. Factor de Bioconcentración (BAF), también conocido como Factor de Bioconcentración (BAC).
- Factor de Saneamiento (RC) o Factor de Acumulación de Disparos (SAF).

B) Factor de Traslocación (TF):

Es el cociente de concentraciones de metales en órganos aéreos y raíces (UNASAM). Un factor de conmutación superior a 1 indica una alta capacidad para transportar metales desde las raíces hasta los brotes. Esto se explica principalmente por el eficiente sistema de transporte de metales (UNASAM) y posiblemente por el secuestro de metales en la vacuola y apoplasto de la hoja (UNASAM). Las plantas hiperacumuladoras se caracterizan por una relación de concentración de metales en las partes aéreas/concentración de metales en las raíces superior a 1. Las plantas no acumuladoras, por otro lado, tienen concentraciones de metales más altas en sus raíces que en sus hojas y tallos (UNASAM). De acuerdo con Deng (2004) y Audet y Charest (2007), los valores del factor de translocación superiores a 1 indican una translocación eficiente de los metales a los brotes para que las plantas puedan utilizarse con fines de extracción de plantas. Por otro

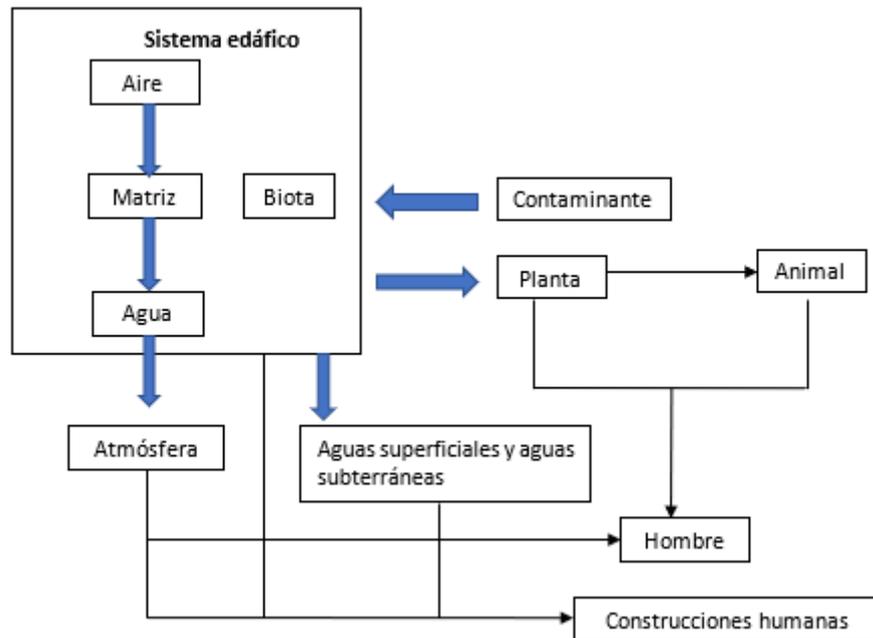
lado, cuando este valor es menor a 1, la migración de metales es baja y se retiene principalmente en las raíces y puede usarse para la estabilización de plantas.

2.2.9. El Problema de la Entrada de Metales Pesados en la Planta

2.2.9.1. Dinámica de los Contaminantes en el Suelo

El suelo se ha convertido en un medio receptivo para una amplia variedad de contaminantes potenciales. Su naturaleza como interfaz entre la biosfera (biomasa terrestre, biomasa marina, humanos), la litosfera (corteza, suelo, sedimentos), la hidrosfera (agua dulce y agua de mar) y la atmósfera la convierte en una “estación de tránsito” para los contaminantes de larga duración durante un período de tiempo (es más probable que se degrade y pierda sus propiedades contaminantes) o es muy móvil, por lo que puede ser absorbido por otros medios y de allí a la red alimentaria donde puede ser absorbido por las redes tróficas con los problemas que estos traerían.

Figura N°1. Dinámica de contaminantes en el suelo



Fuente: (Fernández, 2016)

2.2.9.2. Mecanismos Celulares y Detoxificación de Metales Pesados en Plantas

Según (García G. N., 2003) comprender la genética molecular de la acumulación de metales pesados requiere un conocimiento profundo de las interacciones de las plantas con los ambientes interno y externo. Varios aspectos de las interacciones planta-metal relevantes para la tolerancia y la desintoxicación se analizan exhaustivamente a continuación. Estos son:

A) Micorrizas: Los hongos micorrícicos son hongos específicos del suelo que se encuentran en una relación simbiótica con las raíces de (la mayoría) de las plantas. La palabra misma define una simbiosis entre hongos (mycos) y raíces de plantas (rhizos). Se produce una

asociación física porque las raíces de las plantas se conectan con las hifas de ciertos hongos. Las plantas reciben parte de los hongos del suelo y parte de los hongos del aire. Así, la simbiosis proporciona a los hongos minerales y agua (suelo) ya las plantas sustratos energéticos y carbohidratos (fotosíntesis). Las plantas micorrizas tienen una mayor tolerancia a los metales pesados gracias a su capacidad para fijar metales en sus raíces y evitar que lleguen a las partes aéreas de la planta. La primera barrera a la penetración de metales pesados es la pared celular fúngica, que está cargada negativamente y por lo tanto tiene una gran capacidad para adsorber cationes en su superficie.

- Captación/adsorción de metales pesados en hongos.
- La hidrofobicidad reduce el acceso de metales pesados al apoplasto.
- Quelación de metales pesados por secreciones fúngicas.

B) Pared Celular y Exudados de Raíz: Las raíces forman el principal punto de entrada de metales pesados en las plantas. Hasta entonces, los metales pesados se pueden obtener básicamente por difusión en el medio, flujo a gran escala e intercambio catiónico. Las raíces tienen carga intracelular negativa, principalmente debido a la presencia de los grupos carboxilo del ácido péptico. La carga negativa de estas células germinales de la raíz interactúa con la carga positiva de los metales pesados presentes en el suelo, creando un equilibrio dinámico que facilita su entrada al interior de la célula, penetra y

además es hidrofílico facilitando el transporte de iones. Cuando la carga positiva se une a la carga negativa de la pared celular, los metales pesados se transportan parcialmente a lo largo de la vía del apoplasto y parcialmente a lo largo de la vía del simplasto. Sin embargo, recientemente se ha demostrado que, al menos para el Pb, parte del flujo de metales pesados puede ser retenido por las estructuras de lignina y celulosa de la pared celular (Munive, Universidad Nacional Agraria La Molina, 2008). Los exudados son compuestos orgánicos liberados por las raíces de las plantas. Hay dos tipos: de bajo peso molecular y de alto peso molecular. El primero se libera por gradiente de concentración y el segundo por mecanismos de transporte activo o citólisis. Entre los de bajo peso molecular se encuentran gases como ácidos orgánicos, azúcares, fenoles, aminoácidos y etileno. Los exudados de alto peso molecular, por otro lado, son productos de lisados (como la autólisis de células epidérmicas y corticales), secreciones (con procesos de liberación metabólica) 50 y moco. Los exudados facilitan la disponibilidad de metales. Por ejemplo, se ha observado que los exudados promueven la absorción de hierro en suelos pobres en hierro. El exudado mucoso (mucigel) que forma la capa externa de la raíz también favorece la complejación de metales pesados como Cd, Cu y Pb. (García G. N., 2003)

C) Membrana Plasmática: Las células en buen estado requieren las siguientes vías metabólicas: Estudios de ATP mitocondrial,

metabolismo del calcio, síntesis de proteínas, regulación del ADN, glucólisis y ciclo cítrico o de Krebs (García G.N., 2003). Estos dos últimos proporcionan precursores y equivalentes reducidos para la síntesis de aminoácidos, cuya oxidación produce la mayor parte del ATP en las plantas. El daño a la membrana plasmática, la producción de ATP mitocondrial y la regulación de los niveles de calcio intracelular son vías comunes para la eventual destrucción celular y requieren atención especial. La membrana plasmática es un sistema altamente funcional y complejo, ya que es la puerta de entrada de cada elemento (señales, nutrientes, toxinas, etc.) al lugar donde se produce la química que sustenta la vida de una célula. Las células utilizan la membrana plasmática para mantener un gradiente iónico, regulando así el volumen celular. El daño de la membrana provoca la entrada de iones Ca^{2+} y la salida de iones K^{+} (responsables de los fenómenos de polarización y despolarización de la membrana y, en última instancia, del transporte eléctrico). La liberación de K^{+} promueve la intrusión de agua. Más agua aumenta el volumen celular. Existen múltiples mecanismos que provocan estos cambios. Algunos ejemplos incluyen la fluidización de la membrana, la peroxidación de lípidos, el daño del citoesqueleto y el bloqueo del canal. Independientemente del desafío tóxico, la membrana plasmática es una de las primeras y últimas consecuencias del daño. Esta es una pérdida de integridad de la membrana. Por lo tanto, se debe esperar que el daño al citoesqueleto provoque daño a la membrana plasmática. Por lo tanto, la membrana plasmática es rápidamente

atacada por metales pesados. Dependiendo del metal, se producen efectos específicos de promoción del daño a través de diferentes mecanismos. En total:

- Oxidación y entrecruzamiento de proteínas (que contienen grupos tioles).
- Inhibición de proteínas de membrana esenciales (por ejemplo, H⁺ -ATPasa).
- Cambios en la composición y fluidez de los lípidos de la membrana, y cambios en la permeabilidad. Por ejemplo, se sabe que Cu y Cd alteran la composición de los lípidos de la membrana y provocan la fuga de solutos de las células. De cualquier manera, todos estos mecanismos alteran intrínsecamente las propiedades eléctricas de la membrana plasmática. Sin embargo, la membrana plasmática puede participar en la resistencia a los metales pesados al reducir la captación que facilita la entrada al citosol o al estimular las bombas de flujo de metales. Se sabe que las plantas resistentes protegen las membranas.
- A través de mecanismos de reparación que mantienen la integridad de la membrana plasmática.
- A través de mecanismos protectores como proteínas de choque térmico, metalotioneína.
- Mejorar los mecanismos homeostáticos metálicos.
- Facilitar la entrada reducida a través de la membrana plasmática.

- Facilitar la salida selectiva (metabólicamente, es decir, energéticamente, más conveniente que la entrada específica y los mecanismos de restricción).

Las plantas tienen varias clases de transportadores de metales que se requieren para participar en la homeostasis y la resistencia. Sin embargo, hay poca evidencia directa sobre este punto, especialmente para los sistemas de flujo. (García G. N., 2003).

D) Quelación: Uno de los aspectos más importantes de la acumulación de metales pesados está relacionado con los procesos de complejación. Los complejos o compuestos de coordinación se forman por la interacción de un átomo central, es decir, un ion metálico con un orbital de valencia vacío que actúa como un ácido de Lewis (aceptor de electrones) y una o más bases de Lewis (donadores de electrones). Estas bases se conocen como agentes complejantes o ligandos. Esta interacción forma un enlace covalente coordinado o enlace covalente coordinado. El átomo central debe tener un orbital vacío que pueda aceptar un par de electrones. Como resultado, los cationes de los grupos I y II de la tabla periódica tienen poca tendencia a formar complejos debido a sus orbitales poco profundos y su baja capacidad de captura de electrones. Por el contrario, los metales de transición tienen orbitales profundos (tipo d o f) y, por lo tanto, son más propensos a los procesos de quelación. El metal rodea al ligando y forma un complejo. Los ligandos simples,

como el agua, se unen solo al átomo central y se denominan mono dentados o duo dentados. Algunos ligandos son capaces de formar enlaces coordinados múltiples y se describen como bidentados (coordinados en dos) y tridentados (coordinados en tres), lo que aumenta la estabilidad del complejo. En general, es mucho más probable que formen complejos que sus contrapartes no coordinadas. Las plantas usan este mecanismo de complejación en sus células para unir ligandos a metales pesados. Desintoxica (amortigua) los metales pesados formando complejos. De esta manera, el metal se encuentra inmerso en interacciones químicas y se mantiene en equilibrio electrónico (complejación), pero no se libera del metabolismo, se elimina del citoplasma o de la célula y permanece potencialmente tóxico. Como ya se mencionó, los metales pesados muestran alta afinidad por ciertos grupos funcionales como ligandos principales tales como grupos sulfhidrilo, grupos amino, grupos fosfato, grupos carboxilo y grupos hidroxilo. Los ligandos utilizados son esencialmente aminoácidos y ácidos orgánicos, en concreto dos clases de péptidos: fitoquelatinas y metalotioneínas. Los aminoácidos y los ácidos orgánicos incluyen ácido cítrico, ácido málico, histidina, cisteína, etc. (García G. N., 2003).

2.3. Importancia de las Variables

2.3.1. Características de los Contaminantes Inorgánicos

2.3.1.1. Plomo (Pb)

El plomo se presenta en concentraciones de 10-40 mg Kg⁻¹ en rocas ígneas y depósitos de arcilla, y menos de 10 mg Kg⁻¹ en rocas intrusivas y sedimentos calcáreos. En el suelo, el Pb(II) es la forma más común y reactiva. Cuando están presentes como haluros, hidróxidos, óxidos, carbonatos (cersitas), sulfatos (angelsitas), etc., son relativamente inmóviles y persistentes en el suelo. (Plata, 2005). Cuando se liberan en el suelo, normalmente se convierten de formas solubles a compuestos relativamente insolubles (sulfatos o fosfatos). También puede formar compuestos con materia orgánica y arcilla que limitan la movilidad de este elemento. La biodisponibilidad del plomo es alta en suelos arenosos ácidos con bajo contenido de materia orgánica. A valores de pH superiores a 5 se forman complejos organometálicos de plomo. Solo una pequeña cantidad (0.02-1%) de plomo en el suelo contaminado está presente como compuestos solubles en agua.

El plomo no es un nutriente esencial para los organismos vivos. Se deposita en los huesos y, en niveles bajos, provoca mutaciones graves que consisten en extremidades más largas, deformidades, comportamiento agresivo y automutilación. El fitoplancton, una importante fuente de alimento para muchos organismos acuáticos, también puede verse alterado.

En humanos provoca intoxicación por plomo consistente en alteraciones en la biosíntesis de hemoglobina, bloqueo del transporte de oxígeno y anemia, daño en el cerebro (neurotoxicidad) y riñones, cambios de comportamiento (agresión, disminución de la capacidad de aprendizaje en niños), producción de esperma. pérdida. , aborto y desmineralización ósea por intercambio con Ca^{+2} óseo. Las dosis altas pueden causar encefalopatía, parálisis y muerte. La principal ruta de exposición para los residentes es la ingestión, la segunda es la inhalación (US EPA, 2005).

2.3.1.2. Cobre (Cu)

El cobre está presente en todas las rocas, principalmente en intrusiones básicas e intermedias. En el suelo, pueden sufrir procesos de adsorción, oclusión y coprecipitación, formar complejos y quelatos orgánicos, y son inmovilizados por microorganismos, pero generalmente son menos móviles.

Utilizado en la fabricación de dispositivos electrónicos, forma aleaciones con otros metales y algunas de sus sales se utilizan como plaguicidas (US EPA, 2005).

El cobre es un nutriente esencial para animales, humanos y plantas, actúa como estabilizador de la clorofila y previene la degradación prematura (Kabata-Pendias, 1984).

Absorbido del tracto gastrointestinal, distribuido por todo el cuerpo y almacenado en el hígado, corazón, riñones y músculos. Los compuestos solubles son los más peligrosos para la salud y el envenenamiento por cobre puede causar vómitos, hemólisis, problemas hepáticos y renales. Los elementos se almacenan en el hígado y pueden afectar los ganglios linfáticos (US EPA, 2005).

2.3.1.3. Zinc (Zn)

El zinc se encuentra principalmente en rocas ígneas. Tiende a reemplazar Mg^{+} en silicatos y también se adsorbe en compuestos orgánicos (formando complejos Z con ligandos orgánicos) y arcillas. Esto está fuertemente asociado con la presencia de plomo-cadmio. Si se detecta un problema con cualquiera de los tres elementos, es muy probable que todos estén presentes (Porta et al., 2003). A un pH inferior a 7, el zinc se encuentra en estado iónico (Zn^{+2}) y, por lo tanto, es biodisponible. Por encima de $pH > 7,7$, precipitan como hidróxidos, carbonatos o sulfuros, disminuyendo así su movilidad/solubilidad al aumentar el pH. Las concentraciones en la fase acuosa de los suelos son bajas en comparación con el contenido total de zinc en los suelos. Además de la solubilidad y el pH, otros factores que afectan la biodisponibilidad del zinc incluyen la humedad, el contenido de arcilla y materia orgánica, la concentración total de zinc en el suelo, la actividad microbiana y la interacción con otros macro y micronutrientes. (US EPA, 2005)

El zinc se utiliza en las industrias alimentaria y textil, especialmente en la industria de galvanoplastia, como revestimiento anticorrosión para productos electrónicos. También se utiliza en la fabricación de aleaciones de latón y bronce y como insecticida. Puede ser liberado al medio ambiente a través de la combustión de combustibles y carbón, incineración de residuos, emisiones de gases en fundiciones y lixiviados urbanos. (al D. e., 1996)

Este elemento es un micronutriente vegetal que interviene en la formación de auxinas y está asociado a la asimilación de calcio, fósforo y magnesio. También participa en el metabolismo de proteínas y carbohidratos. La deficiencia de zinc prevalece en los suelos de piedra caliza y provoca una reducción de la actividad deshidrogenasa, fallas en el crecimiento y malformación de las hojas. En animales, es un nutriente esencial para la regulación de metales o enzimas, y su deficiencia se asocia a condiciones como dermatitis, anorexia, retraso en el crecimiento, disminución de la fertilidad y daño al sistema inmunológico. Altas concentraciones de Zn pueden inhibir la absorción de Cu. (Munive, Universidad Nacional Agraria la Molina, 2008)

Las sales de zinc interfieren en el metabolismo de otros iones, como el Cu y el Fe, lo que tiene un efecto negativo en los tejidos. También inhibe la producción de glóbulos rojos, reduce la tasa de

crecimiento y causa ataxia en animales cuando está presente en exceso.

2.3.2. Cultivo del Maíz, Alfalfa y Girasol

Maíz: El maíz es un cultivo de rápido crecimiento con una temperatura ideal de 24-30 °C. El suelo ideal para el cultivo del maíz es el de textura media (arcillosa), fértil, bien drenado, profundo y con buena capacidad de retención de agua. El maíz se adapta a una amplia variedad de suelos. Prefiere un pH entre 6 y 7, pero se adapta a condiciones de pH alto y bajo. También ocurre en suelos de piedra caliza a menos que el exceso de cal conduzca al bloqueo de microelementos.

Alfalfa: La alfalfa crece en regiones frías y se puede sembrar en primavera después de las heladas, pero en regiones con climas menos extremos se puede sembrar en otoño. Se debe plantar a la luz directa del sol con una temperatura óptima de 18-28°C. Las temperaturas superiores a 35°C son dañinas. No tolera el agua estancada ya que sus raíces son propensas a pudrirse. Se recomienda mantener la capa superior del suelo húmeda en todo momento, de igual forma, los sistemas de riego por goteo son prácticos y el pH óptimo para el cultivo es de 7,2, con encalado cuando el pH desciende a 6,8. 4, muy sensible a la sal, se puede sembrar con avena, maíz, frijol, calabaza. (Alonso, 2022)

Girasol: El mejor momento para sembrar girasoles depende del área de cultivo. Los girasoles se adaptan a suelos con temperaturas de 25-30-13-17 °C (franco-arena) y tratan de dar al cultivo unas condiciones óptimas de crecimiento. Los girasoles no son muy salados. El aumento y disminución del contenido de aceite en suelos neutros o alcalinos no afecta la producción de girasol. Dado que las semillas de girasol son plantas con una alta capacidad para utilizar residuos químicos, no solo producen carbohidratos y proteínas, sino que también son fuente de grasa y energía. (Jalisco, 2014)

2.4. Análisis Comparativo

2.4.1. Antecedentes

2.4.1.1. Antecedentes a Nivel Local

Este estudio fue realizado el 30 de abril de 2018 por la Universidad Nacional Agraria La Molina, utilizando como cultivo fitorremediadora maíz Cuzqueado - Hualhuas (*Zea Mays*) y suplementos orgánicos (compost y vermicompost de stevia). Su objetivo es reducir la contaminación por metales pesados en el suelo en las zonas centrales del país.

Para este propósito se utilizaron suelos agrícolas de los pueblos de Mantaro y Muki en el Valle del Mantaro. Sus niveles de suelo superan el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para suelos peruanos. mostrar Los suelos del Municipio de Muki contienen los niveles más altos de Pb y Cd, lo que provoca efectos adversos como

la reducción de los rendimientos de materia seca y el desarrollo retardado de las hojas, tallos y raíces del maíz. El maíz absorbe metales pesados (bp) del suelo como lo demuestra su biomasa.

Por otro lado, se observó que el cadmio se acumulaba en las raíces del maíz (91 %) en comparación con las hojas (6 %) y los tallos (3 %) en promedio para todos los tratamientos. Sin embargo, el compost de stevia vermicelli fue más eficaz para absorber los metales pesados del suelo. Los cálculos del factor de bioconcentración (BF) y del factor de transferencia (FT) indican que el maíz es un cultivo estable.

2.4.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional

De acuerdo con N.Pompilio, R.Moreno, F.Calderon, A.Moreno y J.Tamaris (2014) México, ordeñaron vacas alimentadas con alfalfa cultivada en suelo regado con aguas residuales en la ciudad de Tlaxcala. Producido en México. Tiene como objetivo identificar la presencia de Cd, Pb, Ni, Cu, Cr, Zn y As en la cadena alimentaria del ganado bovino, la alfalfa y la leche. Se tomaron muestras de suelo y alfalfa de cuatro zonas y se recolectó leche de 160 vacas. Esto equivale a 40 cabezas de ganado en diferentes zonas dos veces al año.

El factor de bioacumulación en las plantas (alfalfa) fue menor a 1, lo que indica que la alfalfa es tolerante a los metales pesados,

pero las translocaciones fueron mayores a 1 en orden ascendente: Zn, Cu, Ni, Pb, lo que indica la presencia de Cr it. La medida indica la movilidad de los metales dentro de la planta. Los niveles de Pb en la leche excedieron los estándares internacionales que van desde $(0.039 \pm 0.02 \text{ mgK}^{-1})$ a $(0.059 \pm 0.05 \text{ mgK}^{-1})$, pero Pb y As fueron inferiores a los estándares nacionales en México. Tlaxcala, México

Plantas de alfalfa producidas en suelos cultivables de la Cuenca del Alto Balsas del Estado y del Estado de Puebla contienen metales en sus partes comestibles y su consumo por los animales presenta riesgos para la salud debido a las acumulaciones que pueden producir los animales. consumo crónico. De manera similar, se encontró que la leche producida en estas regiones contiene elementos tóxicos como Pb y As, que están por encima de los estándares internacionales y por debajo de los estándares nacionales.

2.5. Análisis Crítico

Los metales se encuentran en la corteza, en el mar o en estado puro como el oro. Hasta la fecha se han descubierto 80 metales de un total de 109 elementos identificados en la tabla periódica. Los metales son sustancias que comparten propiedades comunes de brillo, conductividad térmica y eléctrica, maleabilidad, ductilidad y dureza, con excepción de los metales alcalinos blandos como Li, Na, K, Rb y Cs (Maria Csuros, 2019). La fuerte atracción electrostática entre protones cargados positivamente, núcleos y electrones negativos explica estas propiedades (Maria Csuros, 2019). Son sólidos a

temperatura ambiente, a excepción del mercurio líquido. La mayoría de los metales en su estado metálico o de valencia cero son insolubles. El sodio es una excepción ya que reacciona con el agua. Algunos compuestos metálicos son solubles en agua y otros no. Por ejemplo, el carbonato de plomo es insoluble. Debido a que estos metales no se degradan metabólicamente, su acumulación en los tejidos vivos puede tener graves consecuencias para la salud. Algunos compuestos metálicos pueden disolverse en agua, lo que puede provocar su entrada en el suelo y, por lo tanto, en la cadena alimentaria. Muchas actividades industriales, como la minería, el procesamiento de minerales y la industria química, aumentan la concentración de metales en el nivel freático en las áreas que rodean los sitios de producción.

Esta oxidación de minerales de pirita y sulfuro en presencia de humedad forma impurezas ácidas en el nivel freático (Naja, 2008). Las operaciones mineras vierten grandes cantidades de hierro, manganeso, plomo, zinc, cobre, arsénico y plata de las descargas de efluentes de la minería industrial en cuencas de captación y otras fuentes ambientales acuáticas. (al W. e., 2009)

Otras fuentes de altos niveles de metales pesados incluyen agua de lluvia, desechos industriales y aguas residuales, vertederos, escorrentía agrícola y combustión de combustibles fósiles (al W. e., 2009).

CAPÍTULO III: MARCO REFERENCIAL

3.1. Reseña Histórica

El Centro Tecnológico Minero (CETEMIN) inauguró el campus “ISAAC RIOS QUINTEROS” ubicado en la carretera central km 28.5 Chosica Lima el 14 de agosto del 2015, siendo su séptima sede con una inversión de 8 millones de nuevos soles.

“ISAAC RIOS QUINTEROS “, fue un ingeniero natural del pueblo de Mallay, quién llegó a Lima para continuar sus estudios secundarios y superiores en el colegio “Nuestra Señora de Guadalupe” y la “Universidad Nacional de Ingeniería” respectivamente, teniendo la suerte de trabajar en minas peruanas, posteriormente laboró y estudió fuera del país, después regreso a la UNI como catedrático, se jubiló en la UNI y fundó CETEMIN para formar técnicos y operadores calificados requeridos por nuestra minería. Más de 10 mil técnicos y profesionales mineros fueron formados hasta el día de hoy, número que seguirá multiplicándose por el bien del Perú y futuras generaciones.

Las instalaciones de Cetemin se caracterizan por ofrecer una infraestructura moderna con aulas, talleres y laboratorios que cuentan con equipos de última generación para concluir con su compromiso de ofrecer una educación técnica de calidad.

Actualmente, el Instituto de Educación Superior sede “Isaac Ríos Quinteros” brinda las siguientes carreras: Mantenimiento de Equipo Pesado, Mantenimiento Eléctrico e Instrumentación, Mantenimiento de Planta Industrial, Prevención de Riesgo y Seguridad & Salud Ocupacional y Medio Ambiente.

3.2. Filosofía Organizacional

El Centro Tecnológico Minero (CETEMIN) sede “Isaac Ríos Quinteros”, se encuentra ubicado Carretera Central Km.28.5 localizada en la Provincia de Lurigancho - Chosica, Región Lima geográficamente se ubica en la zona este de Lima, entre las coordenadas UTM WGS84 al este con 0310996.89, al norte con 8677297.97 y una altitud promedio de 774 m.s.n.m.

Ubicación de la Unidad: Distrito: Lurigancho - Chosica - Lima

Ubicación Legal: Carretera Central Km 28.5 Chosica - Lima

Figura N°2. Ubicación satelital – CETEMIN_Sede "Isaac Ríos Quinteros".



Fuente: Google Earth

Misión: Somos una institución educativa sin fines de lucro dedicada a formar personas competentes, que aporten a la sociedad y las industrias, mejorando su calidad de vida a través de una educación por competencias, accesible e innovadora, que conlleve a la excelencia y éxito.

Visión: Ser la institución más importante en la formación técnica de excelencia, focalizadas en las necesidades de capital humano en el mercado nacional y regional.

Valores Institucionales

- Proactividad
- Seguridad
- Innovación
- Respeto
- Compromiso

3.3. Diseño Organizacional

El diseño organizacional que utiliza el Centro Tecnológico Minero son los recursos empresariales, materiales y talento humano, para optimizar sus procesos y aumentar la productividad. Es una filosofía orientada a crear métodos para resolver problemas, rápido y a bajo costo.

Una manera de fomentar e impulsar el diseño organizacional y, al mismo tiempo, la cultura corporativa, es implementar las siguientes estrategias:

- Seleccionar un equipo capacitado para realizar el plan de desarrollo organizativo.
- Recolectar información para obtener las opiniones y perspectivas del talento humano.
- Hacer un diagnóstico que permita definir el mejor plan de acción, para asegurar el buen manejo de la empresa.
- Desarrollar, establecer y comunicar formalmente la filosofía, misión, visión, valores organizacionales y estrategias de socialización.
- Cuidar que el ambiente de trabajo cubra las necesidades y requerimientos que fomentan la construcción y mantenimiento del desarrollo corporativo.
- Motivar a los colaboradores para que promuevan mediante eslogan, lenguaje y expresiones de las intenciones de desarrollo organizativo.
- Implementar programas de capacitación que nutran el aprendizaje organizacional del talento humano.
- Motivar al talento humano mediante retribuciones, criterios de promoción explícita y símbolos de estatus para que sean cada vez mejores profesionales. Además, para enriquecer el aprendizaje organizacional.
- Establecer y mantener estructuras jerárquicas que permitan cumplir los procesos que impulsan el desarrollo corporativo, sin producir conflictos de posiciones.

3.4. Diagnóstico Organizacional

El diagnóstico organizacional que cuenta el Centro Tecnológico Minero se basa en su política. La Política CETEMIN sigue los lineamientos establecidos en las Normas Internacionales ISO 21001 (Sistema de gestión para organizaciones educativas) e ISO 9001 (Sistemas de gestión de la calidad), asimismo considera los aspectos asociados a la seguridad y salud en el trabajo. CETEMIN tiene como propósito ser líder en la formación integral, eficiente, innovadora y de alta calidad, que aporta a la productividad del país con soluciones y profesionales de alto nivel, según el contexto de la Institución, las necesidades y expectativas de los grupos de interés relevantes y en concordancia con su misión y visión.

La Política se encuentra alineada a las siguientes creencias de CETEMIN:

- Primero son las personas
- El medio ambiente es nuestro hogar
- La mejora continua es el camino a la excelencia
- Somos líderes de acción, transformamos problemas en soluciones

La presente investigación tuvo como apoyo a los alumnos de la especialidad de Medio Ambiente promoción 2022-I quienes estuvieron a cargo de los instructores:

- Ing. Derly Freddy De La Rosa Soto
- Ing. Joao Carlos Soto Almeida

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Diagnóstico Preliminar (Etapas del Proyecto)

4.1.1. Planificación

Para el desarrollo del proyecto se tuvo en consideración aspectos muy importantes tales como: recursos humanos, recursos materiales como también la necesidad de adquirir el equipo Colorímetro para la evaluación de resultados.

La revisión bibliográfica relacionado al tema de fitorremediación es de suma importancia ya que nos sirve como apoyo y guía para la remediación de suelos contaminados con metales pesados como Cu, Pb, Zn, para ello se ha utilizado especies vegetales como: Maíz, alfalfa, girasol, que tienen la característica de absorber metales mediante sus raíces (Fito-extracción).

Figura N°3. Revisión bibliográfica	Figura N°4. Equipo para análisis de muestras (colorímetro)
	
Fuente: Propia	Fuente: Propia

4.1.2. Verificación del Área de Estudio

Se dio la verificación del área del proyecto ubicado en la sede Isaac Ríos Quinteros cerca de la zona de esparcimiento, donde se delimitó el área de aproximadamente 3m x 20m para llevar cabo el proyecto.

El área en primer momento se encontró totalmente cubierta con especies de plantas no beneficiosas tales como: herbáceas, malezas, carrizos, etc.

Figura N°5. Verificación del área.	Figura N°6. Delimitación del área.
	
Fuente: Propia	Fuente: Propia

4.1.3. Limpieza del Área

Se procedió hacer el retiro de malezas, herbáceas, carrizos, etc. que se encontraban dentro del área; para esa actividad se utilizó herramientas como: machetes, carretillas, mantas, tijera de podar, serruchos y rastrillo, el trabajo de limpieza tuvo una duración de una semana y finalmente se obtuvo el área totalmente adecuado para la ejecución del proyecto.

Se realizó los canales de riego al contorno del área de interés para que no haya interferencia con las actividades de jardinería.



4.1.4. Toma de Muestras de Suelo

Para esta actividad se utilizó el método compósito que consiste en:

- Delimitación de área, teniendo en cuenta el sitio de muestreo (cuadrículas).
- Limpieza de la superficie.
- Excavación de los puntos medios de cada cuadrícula para la obtención de muestra.
- Se realizó el cuarteo y la homogenización.
- Finalmente se obtuvo ½ kilo de muestra de suelo para su respectivo análisis.

<p>Figura N°8. Homogenización de la muestra.</p>	<p>Figura N°9. Obtención de la muestra</p>
	
<p>Fuente: Propia</p>	<p>Fuente: Propia</p>

4.1.5. Diseño de las Parcelas

En esta etapa del proyecto se elaboró 5 parcelas con las siguientes medidas 1.65 x 0.65m, la separación entre parcela y parcela es de 0.30 m y con una profundidad de 0.10 m en la parte alta y 0.15 m en la parte baja, esta característica se realizó para obtener una pendiente, a través contar con una red de drenaje y finalmente desemboque en la poza de lixiviado.

La primera parcela se diseñó para ser contaminada artificialmente con nitrato de Plomo (Pb), segunda parcela fue contaminada con nitrato de Zinc (Zn), tercera parcela fue contaminada con sulfato de cobre (Cu), una cuarta parcela fue contaminada con los tres reactivos nitrato Plomo (Pb), sulfato de Cobre y nitrato de Zinc (Zn), quinta parcela fue diseñada para testigo que sirvió como referencia en el estudio.

Figura N°10. Medición de parcelas.	Figura N°11. Excavación de parcelas.
	
Fuente: Propia	Fuente: Propia

Determinación del Volumen de la Parcela:

Para la determinación del volumen de la parcela se utilizó las siguientes fórmulas:

$$V_A = \text{Largo} * \text{Ancho} * \text{Altura}$$

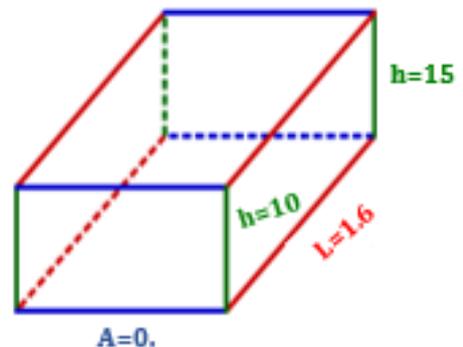
$$V_B = \frac{(\text{Largo} * \text{Ancho} * \frac{\text{Altura}}{2})}{2}$$

Datos:

Altura: 0.10 m

Largo: 1.65 m

Ancho: 0.65 m



Desarrollo:

$$V_A = 1.65 * 0.65 * 0.10 = 0.10725 \text{ m}^3$$

$$V_B = (1.65 * 0.65 * 0.05) / 2 = 0.0268125 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{TOTAL}} = V_A + V_B = 0.107 \text{ m}^3 + 0.026 \text{ m}^3 = \mathbf{0.133 \text{ m}^3}$$

Diseño de la Red de Drenaje:

La red de drenaje se diseñó con el fin de conducir las aguas de infiltración producto del riego, evitando así la filtración de lixiviado de las parcelas contaminadas hacia el suelo fértil; para ello se realizó las siguientes actividades:

- a) Distribución de tuberías hacia el colector principal a una profundidad de 30 cm con una pendiente de 10%.
- b) Conexión de tuberías y accesorios utilizando codos, uniones, niples, pegamento, etc.



Diseño de la Poza de Lixiviado:

La finalidad de la poza de lixiviado es captar las aguas de contacto producto del riego de las parcelas; para ello se realizó una excavación con las siguientes medidas: 80cm de profundidad, por 60cm ancho, 70cm de largo.

Se implementó un recipiente de plástico con capacidad de 20 L.

Figura N°13. Diseño de la posa de lixiviado.



Fuente: Propia



Fuente: Propia

4.1.6. Impermeabilización del Suelo

- Su finalidad es evitar que las aguas de contacto se infiltren hacia el suelo fértil.
- Se utilizó plástico de mediana densidad de color oscuro.
- Para la unión de plástico con la red de drenaje se utilizó niples de ajuste evitando la pérdida de líquido.

Figura N°14. Impermeabilización de las parcelas.



Fuente: Propia



Fuente: Propia

4.1.7. Diseño de Almacigos

Para el diseño de almacigos se realizó las siguientes actividades:

- a) Extracción de malezas.
- b) Se agregó arena fina con grava.
- c) Se dividió la parcela para cada especie vegetal (girasol, alfalfa y maíz).
- d) Posteriormente se procedió a insertar las semillas.
- e) Seguidamente se cubrió con film con el fin de retener la humedad del suelo.

Figura N°15. Preparación de suelo para la construcción del semillero.	Figura N°16. División del semillero por especie vegetal.
	
Fuente: Propia	Fuente: Propia

4.1.8. Preparación del Reactivo

Para realizar la preparación de reactivo se tiene que tomar en cuenta la densidad de la tierra la cual se halla con la siguiente formula.

Densidad: 1.03 g/ml

Masa = Densidad * Volumen = 138.07 g

Tabla N°4. Tabla de Preparación del Reactivo

Reactivo	Símbolo/Peso Atómico	Unidad Medida	Masa neta del metal	Cantidad de reactivo a utilizar
Sulfato de cobre pentahidratado	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 249,68 Cu 63,546	gramos/mol	138,07 g	538,14 g
Sulfato de zinc heptahidratado	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 287,55 Zn 65,38	gramos/mol	138,07 g	607,250 g
Nitrato de plomo	$Pb(NO_3)_2$ 331,2 Pb 207,2	gramos/mol	138,07 g	220,732 g

Fuente: Propia

4.1.9. Homogenización del Suelo con el Reactivo

Para la homogenización del suelo con los reactivos se realizó las siguientes actividades:

Figura N°17. Preparación de los reactivos.



Fuente: Propia



Fuente: Propia

a) Nitrato de Plomo

- Para 220.7 gramos de nitrato de plomo se le añadió 7 litros de agua.
- Luego se homogenizó la solución.
- Posteriormente se vertió la solución sobre la parcela.

Figura N°18. Homogenización del suelo con Nitrato de Pb



Fuente: Propia



Fuente: Propia

b) Sulfato de Cobre

- Para 63.5 gramos /mol se le añadió 4 litros con 830ml de agua.
- Luego se homogenizo la solución.
- Posteriormente se mezcló la solución sobre la parcela.

Figura N°19. Homogenización de Sulfato de cobre con el suelo fértil.



Fuente: Propia



Fuente: Propia

c) Sulfato de Zinc

- Para 63.38 gramos de Zinc se le añadió 7 litros de agua.
- Luego se homogenizo la solución.
- Posteriormente se vertió la solución sobre la parcela.

Figura N°20. Homogenización de sulfato de Zinc con el suelo fértil.



4.1.10. Trasplante de Plantas

Para el trasplante de plantas se realizó las siguientes actividades:

- Se realizó el riego de la parcela de los almácigos.
- Una vez húmeda la parcela de almacigo, retiramos las plantas desde su raíz para poder trasplantarlas en las parcelas (Pb, Cu, Zn).
- En cada una de las parcelas demostrativas se hizo un pequeño hoyo aproximadamente con un diámetro de 5 x 5 cm para que la planta pueda encajar dentro
- Posteriormente se le agrega una cantidad de 40 gramos de humus para que ayude al desarrollo de la planta.
- Por último, se procede al trasplante de las especies vegetales.

Figura N°21. Trasplante de las especies vegetales.



Fuente: Propia



Fuente: Propia

4.2. Diseño de la Mejora (Monitoreo, Control y Toma de Datos)

4.2.1. Riego de Parcelas

Para que las plantas logren su desarrollo, se realizó el riego de las parcelas de manera inter diaria con una cantidad de agua necesaria y teniendo en cuenta la pérdida del mineral a través de la infiltración.

Para retener la Humedad de la tierra se colocó el plástico film.

Figura N°22. Riego de parcelas de especies vegetales.



Fuente: Propia



Fuente: Propia

4.2.2. Control del Crecimiento Vegetal

Se hicieron mediciones semanales con un escalímetro desde el nivel del suelo hasta la altura máxima de la cada especie vegetal, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla N°5. Parcela con Concentraciones de Plomo

Parcela con concentraciones de PLOMO											
Tipo de parcelas	Especie Vegetal	Semana 1. (cm)	Semana 2. (cm)	Semana 3. (cm)	Semana 4. (cm)	Semana 5. (cm)	Semana 6. (cm)	Semana 7. (cm)	Semana 8. (cm)	Semana 9. (cm)	Semana 10. (cm)
Plomo	Maíz	Etapa germinación	5.2	11	14	16	20	22	26	29	33
	Girasol		4.8	12	18	22	28	32	38	42	48
	Alfalfa		3.4	4.4	5.8	7	8.5	9	10.5	12.7	14.1

Fuente: Propia

Tabla N°6. Parcela con Concentraciones de Zinc

Parcela con concentraciones de ZINC											
Tipo de parcelas	Especie Vegetal	Semana 1. (cm)	Semana 2. (cm)	Semana 3. (cm)	Semana 4. (cm)	Semana 5. (cm)	Semana 6. (cm)	Semana 7. (cm)	Semana 8. (cm)	Semana 9. (cm)	Semana 10. (cm)
Zinc	Maíz	Etapa Germinación	6	9.5	11	15	18	22	25.5	29.4	35.4
	Girasol		12	22.5	30	35.5	43	50	55	60.8	71.1
	Alfalfa		5	6.2	7.8	8.5	9.8	11.6	13.5	15	18.5

Fuente: Propia

Tabla N°7. Parcela con Concentraciones de Cobre

Parcela con concentraciones de COBRE											
Tipo de parcelas	Especie Vegetal	Semana 1. (cm)	Semana 2. (cm)	Semana 3. (cm)	Semana 4. (cm)	Semana 5. (cm)	Semana 6. (cm)	Semana 7. (cm)	Semana 8. (cm)	Semana 9. (cm)	Semana 10. (cm)
Cobre	Maíz	Etapa Germinación	6	10.9	15.9	19.2	23.3	26.2	28.8	31.5	35.2
	Girasol		7.2	15.9	20.8	25	30.3	34.6	37	45.8	48.2
	Alfalfa		4.1	6	8.4	10	10.9	12.6	14.2	15.9	16.3

Fuente: Propia

Tabla N°8. Parcela con Concentraciones de Pb, Cu, Zn

Parcela con concentraciones de Pb, Cu, Zn											
Tipo de parcelas	Especie Vegetal	Semana 1. (cm)	Semana 2. (cm)	Semana 3. (cm)	Semana 4. (cm)	Semana 5. (cm)	Semana 6. (cm)	Semana 7. (cm)	Semana 8. (cm)	Semana 9. (cm)	Semana 10. (cm)
Pb, Zn, Cu	Maíz	Etapa Germinación	3.2	5.9	9.4	12.9	16.7	22.2	24.4	28.3	32.4
	Girasol		9.1	14.8	19.5	28	35	42	48	51	55
	Alfalfa		3.6	4.8	6.2	8.5	9	9.9	10.8	11.8	12.2

Fuente: Propia

Tabla N°9. Parcela con Concentraciones de Pb, Cu, Zn

Parcela TESTIGO											
Tipo de parcelas	Especie Vegetal	Semana 1. (cm)	Semana 2. (cm)	Semana 3. (cm)	Semana 4. (cm)	Semana 5. (cm)	Semana 6. (cm)	Semana 7. (cm)	Semana 8. (cm)	Semana 9. (cm)	Semana 10. (cm)
Testigo	Maíz	Etapa Germinación	5.4	10	14.6	18.9	23.1	29	32.2	36.7	41.1
	Girasol		6.5	13	16.4	23.6	29	34	40.2	44	48.5
	Alfalfa		3.2	5.5	6.8	8.9	9.4	10	12.2	14.5	16.2

Fuente: Propia

Figura N°23. Medición con el alcalímetro de las especies vegetales.



Fuente: Propia



Fuente: Propia

4.2.3. Extracción de Muestras Vegetales

La extracción de plantas se realiza para el análisis de la muestra vegetal en el laboratorio, para tomar la muestra se realizó las siguientes actividades:

- Identificar el tipo de especie observando sus características físicas
- Se recolecto 5 hojas (robustas-verdes) por cada especie.
- Se depositó en una bolsa Ziploc previamente rotulado.

Figura N°24. Extracción de muestras vegetales



Fuente: Propia

Fuente: Propia

Tabla N°10. Extracción de Muestras con Plomo

Extracción de muestras - Pb				
Tipo de parcelas	Especie Vegetal	Primera muestra (g)	Segunda muestra (g)	Observaciones
Plomo	Maíz	0.5	0.5	Decoloración en las hojas, difícil adaptación
	Girasol	1	1	Desarrollo lento
	Alfalfa	0	1	Crecimiento lento y una notoria pigmentación color amarilla en las hojas.

Fuente: Propia

Tabla N°11. Extracción de Muestras con Zinc

Extracción de muestras - Zn				
Tipo de parcelas	Especie Vegetal	Primera muestra (g)	Segunda muestra (g)	Observaciones
Zinc	Maíz	0.5	0.5	Crecimiento y adaptación rápida.
	Girasol	1	1	Crecimiento y adaptación rápida, buen desarrollo en la especie.
	Alfalfa	0	1	Crecimiento lento.

Fuente: Propia

Tabla N°12. Extracción de Muestras con Cobre

Extracción de muestras - Cu				
Tipo de parcelas	Especie Vegetal	primera muestra (g)	segunda muestra (g)	Observaciones
Cobre	maíz	0.5	0.5	Se observa demora en crecimiento, además la pigmentación es color amarillenta.
	Girasol	1	1	Crecimiento y adaptación rápida, buen desarrollo en la especie.
	Alfalfa	0	1	Crecimiento lento.

Fuente: Propia

Tabla N°13. Extracción de Muestras con Pb, Cu, Zn

Extracción de muestras – Pb, Cu, Zn				
Tipo de parcelas	Especie Vegetal	Primera muestra (g)	Segunda muestra (g)	Observaciones
Pb, Zn, Cu	Maíz	0.5	0.5	Decoloración de las hojas, adaptación lenta.
	Girasol	1	1	Adaptación rápida y buen desarrollo.
	Alfalfa	0	1	Crecimiento lento.
Extracción de muestras - Testigo				
Tipo de parcelas	Especie Vegetal	Primera muestra (g)	Segunda muestra (g)	Observaciones
Testigo	Maíz	0.5	0.5	Presencia de pequeños gusanos herbívoros en las hojas.

	Girasol	1	1	Buen desarrollo, crecimiento rápido.
	Alfalfa	0	1	Crecimiento lento y buena adaptación.

4.2.4. Preparación de Muestras

- Se corcaron de cada especie 2-3 hojas aproximadamente.
- En el laboratorio se hizo secar con la estufa hasta tener un punto adecuado para la trituración.

4.2.4.1. Secado de las Plantas

El secado se realiza para poder triturar la muestra para ello se debe realizar en una estufa y se coloca las muestras con una temperatura aproximadamente de 35°C.

- La muestra debe alcanzar una contextura adecuada evitando que llegue a quemarse.
- Calentar las muestras por separado evitando la combinación entre estas.

Figura N°25. Secado de la muestra utilizando la estufa.



Fuente: Propia



Fuente: Propia

4.2.4.2. Triturado de la Muestra

El triturado se realiza para poder digerir la muestra y así determinar las concentraciones de asimilación por especie vegetal para ello se realiza las siguientes actividades:

- Las muestras deben estar bien secas para poder triturar.
- Luego con la ayuda de un mortero se tritura la muestra hasta dejarlo pulverizado.
- La muestra se deposita en los sobres de papel bond previamente rotulados por tipo de contaminante y especie de planta para evitar una contaminación cruzada.



Tabla N°14. Pesaje de Muestra después de la Trituración con Plomo

Pesaje de muestra después de la trituración – Pb				
Tipo de parcelas	Especie Vegetal	Primera muestra (g)	Segunda muestra (g)	Observaciones
Plomo	Maíz	0.55	0.66	Coloración verde oliva
	Girasol	0.58	0.69	Coloración verde oscuro
	Alfalfa	0.65	0.72	

Fuente: Propia

Tabla N°15. Pesaje de Muestra después de la Trituración con Zinc

Pesaje de muestra después de la trituración - Zn				
Tipo de parcelas	Especie Vegetal	Primera muestra (g)	Segunda muestra (g)	Observaciones
Zinc	Maíz	0.57	0.48	Coloración verde esmeralda
	Girasol	1.01	0.89	Coloración verde oscuro
	Alfalfa	0.85	0.95	

Fuente: Propia

Tabla N°16. Pesaje de Muestra después de la Trituración con Cobre

Pesaje de muestra después de la trituración - Cu				
Tipo de parcelas	Especie Vegetal	Primera muestra (g)	Segunda muestra (g)	Observaciones
Cobre	Maíz	0.55	0.58	Coloración verde oliva
	Girasol	0.86	0.89	Coloración verde oscuro
	Alfalfa	0.74	0.77	

Fuente: Propia

Tabla N°17. Pesaje de Muestra después de la Trituración con Pb, Cu, Zn

Pesaje de muestra después de la trituración – Pb, Cu, Zn				
Tipo de parcelas	Especie Vegetal	Primera muestra (g)	Segunda muestra (g)	Observaciones
Pb, Zn, Cu	Maíz	0.47	0.51	Coloración verde oliva
	Girasol	1.00	1.05	Coloración verde oscuro
	Alfalfa	0.66	0.72	

Fuente: Propia

Tabla N°18. Pesaje de Muestra después de la Trituración con Testigo

Pesaje de muestra después de la trituración - Testigo				
Tipo de parcelas	Especie Vegetal	Primera muestra (g)	Segunda muestra (g)	Observaciones
Testigo	Maíz	1.01	1.12	Coloración verde oliva
	Girasol	1.03	1.15	Coloración verde oscuro
	Alfalfa	1.05	1.17	

Fuente: Propia

4.3. Mecanismos de Control (Análisis Químico en Laboratorio)

4.3.1. Digestión de las Muestras de Suelo para Análisis Químico

- **Pesar 0.25g de suelo.**

Para ello que requirió de un tamiz con el fin de reducir el tamaño de muestra a 125 ug y posteriormente se pesó.

Figura N°27. Tamizar la muestra y pesaje de la muestra 0.25 g



Fuente: Propia



Fuente: Propia

- **Colocar la muestra en Matraz Kjeldahl.**

Con ayuda de un embudo y pincel colocar las muestras de suelo al Matraz Kjeldahl; luego proceder a digerir las muestras.

Figura N°28. Colocar las muestras en Matraz Kjeldahl.



Fuente: Propia



Fuente: Propia

- Agregar 0.3 ml de H₂O

Se agregó agua destilada a todas las muestras de suelo para poder humedecerlas.

Figura N°29. Agregar 0.3 ml de H₂O a las muestras.



Fuente: Propia



Fuente: Propia

- Agregar 5 ml de HNO₃ AL 70% (15M, 15N)

Agregar HNO₃ al 70% a la muestra se suelo, esta acción se realizó en la Campana extractora de gases y vapores debido a que al digestar las muestras se liberan gases tóxicos (gases nitrosos, NO₂).

Figura N°30. Agregar 5 ml de HNO₃ AL 70%



Fuente: Propia



Fuente: Propia

- Calentar 1:30 minutos a T° 100 °C (Baño maría)

Colocar el Matraz Kjeldahl con las muestras dentro de los vasos precipitados con agua y posteriormente colocar en la plancha de calentamiento para mantener a temperatura de 100 °C para la digestión.

Figura N°31. Calentar las muestras por un 1:30 minutos a T° 100°C.



Fuente: Propia



Fuente: Propia

- Enfriar

Retirar la solución de la plancha de calentamiento y esperar que enfriase con la temperatura ambiental.

Figura N°32. Retirar la solución de la plancha de calentamiento y dejar enfriar la solución.



Fuente: Propia



Fuente: Propia

- **Agregar 1.5 ml de H₂O₂ AL 30%**

Este procedimiento se realiza para oxidar la materia orgánica u otras sustancias.

Figura N°33. Agregar 1.5 ml de H₂O₂ AL 30%



Fuente: Propia



Fuente: Propia

- **Calentar 45 minutos (Baño María)**

Figura N°34. Calentar las muestra por 45 min en baño maría T° 100°C.



Fuente: Propia



Fuente: Propia

- **Enfriar las muestras**

Retirar las muestras de la plancha de calentamiento para enfriarlo, para ello se utilizó las rejillas de asbesto.

Figura N°35. Retirar la muestra



Fuente: Propia

- **Filtrar**

Al filtrar la solución solo se obtendrá el líquido, para ello se utiliza el soporte universal, embudo y papel filtro; y finalmente la solución se deposita en los tubos de muestreo para luego analizarlos en los equipos.

Figura N°36. Filtrar las muestras y colocarlos en los tubos de ensayo para su análisis.



Fuente: Propia



Fuente: Propia

4.3.2. Digestión de Plantas para Análisis Químico

- **Pesar 0.5 g de la muestra**

Se realizó el pesaje de las muestras de las plantas de cada parcela (maíz, girasol y alfalfa), para ello se utilizó la balanza analítica.

Figura N°37. Pesar las muestras de plantas.

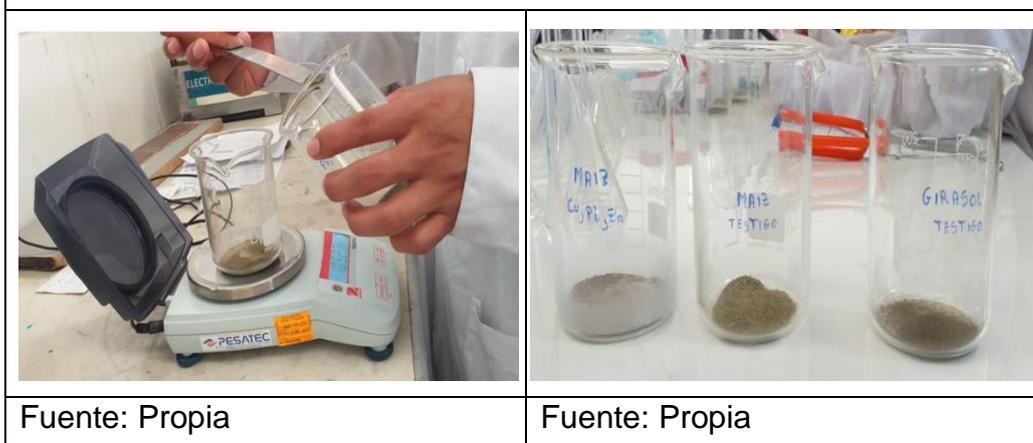


- **Colocar muestra de plantas en vaso de 250 ml**

Colocar las muestras ya pesadas a un vaso precipitado de 250 ml.

Se recomienda usar vasos de precipitado largos y angostos con el objetivo de mantener la muestra (no se evapore).

Figura N°38. Colocar las muestras en el vaso precipitado de 250 ml.



- **Agregar 15 ml de HCl y 5 ml de HNO₃**

Agregar 15 ml HCl y 5 ml HNO₃ para poder obtener una muestra soluble.

Figura N°39. Agregar 15 ml de HCl y 5 ml de HNO₃ a las muestras.



Fuente: Propia

Fuente: Propia

- **Calentar hasta que reaccione (NO₂)**

Colocar las muestras en la plancha de calentamiento; estas se tienen que calentar, como resultado de la reacción química se volatiliza el dióxido de nitrógeno (NO₂).

Figura N°40. Calentar de muestras hasta que ocurra reacción química.



Fuente: Propia

Fuente: Propia

- Aumentar la temperatura

Aumenta la temperatura para evaporar hasta obtener 3-5 ml de las muestras.

Figura N°41. Aumentar la T°



Fuente: Propia



Fuente: Propia

- Enfriar y diluir 15 ml de H2O

Una vez obtenido 3-5 ml de muestra fría diluir con 15 ml de agua destilada.

Figura N°42. Enfriar y diluir



Fuente: Propia



Fuente: Propia

- Filtrar

Para filtrar utilizar el papel filtro, el embudo y el soporte universal; introducir el papel filtro en el embudo, posteriormente colocar el embudo en el soporte universal y filtrar las muestras obtenidas, aumentar agua destilada hasta obtener la solución líquida de 25 ml; quedando restos de la planta que no son solubles en el ácido en el filtro; gracias a este proceso se obtiene la solución líquida que estará lista para el análisis.

Figura N°43. Filtrar muestra para obtener solución líquida lista para el análisis.



Fuente: Propia



Fuente: Propia

4.3.3. Materiales y Equipos

Materiales:

- Tubos de PVC de 1/2"
- Codo de 1"
- Tubos Y de 1"
- Tubos T de 1"
- Hule
- Malla rashell
- Pegamento de PVC

- Guantes de nitrilo
- Mascarilla
- Batea o recipiente
- Bolsa ziploc

Materiales de Laboratorio:

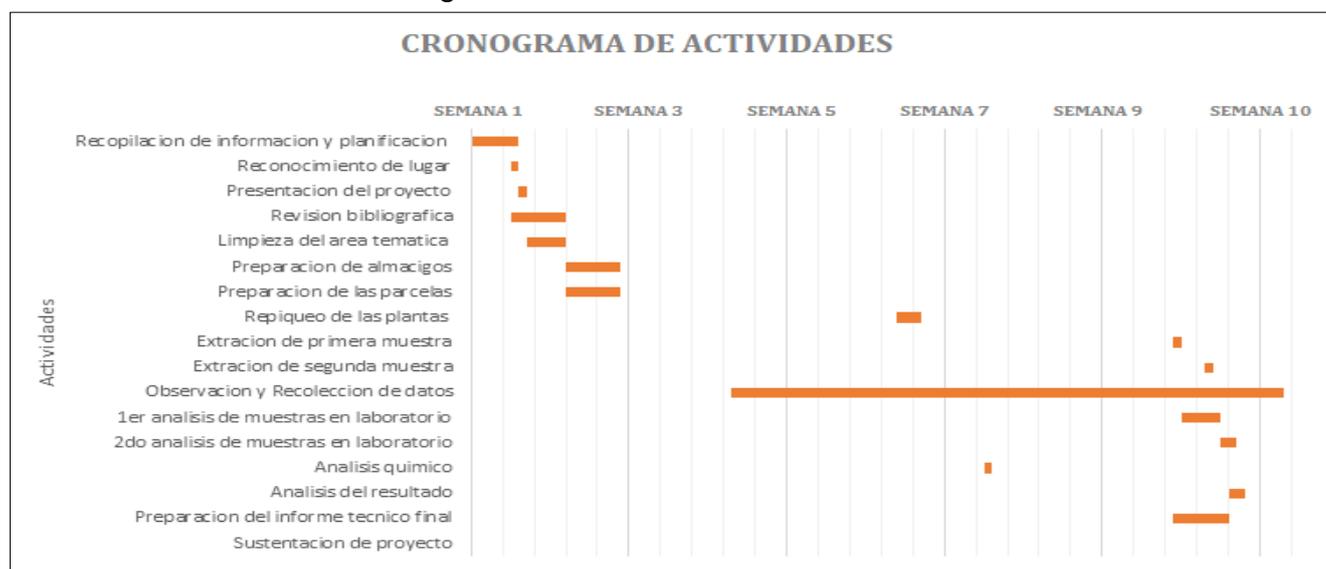
- Probeta graduada
- Bagueta
- Crisol
- Tubos de ensayo
- Mortero
- Fiola
- Vaso precipitado

Equipos:

- Balanza electrónica
- Estufa de laboratorio
- Colorímetro portátil
- Potenciómetro
- GPS
- Kit muestreador de suelos

4.3.4. Cronograma de Actividades

Tabla N°19. Cronograma de Actividades



Fuente: Propia

4.3.5. Presupuesto

Tabla N°20. Presupuesto a Nivel Piloto

PRESUPUESTO

ESCUELA:
MAESTRÍA:

ESCUELA DE POSGRADO NEWMAN
GESTIÓN MINERA Y AMBIENTAL

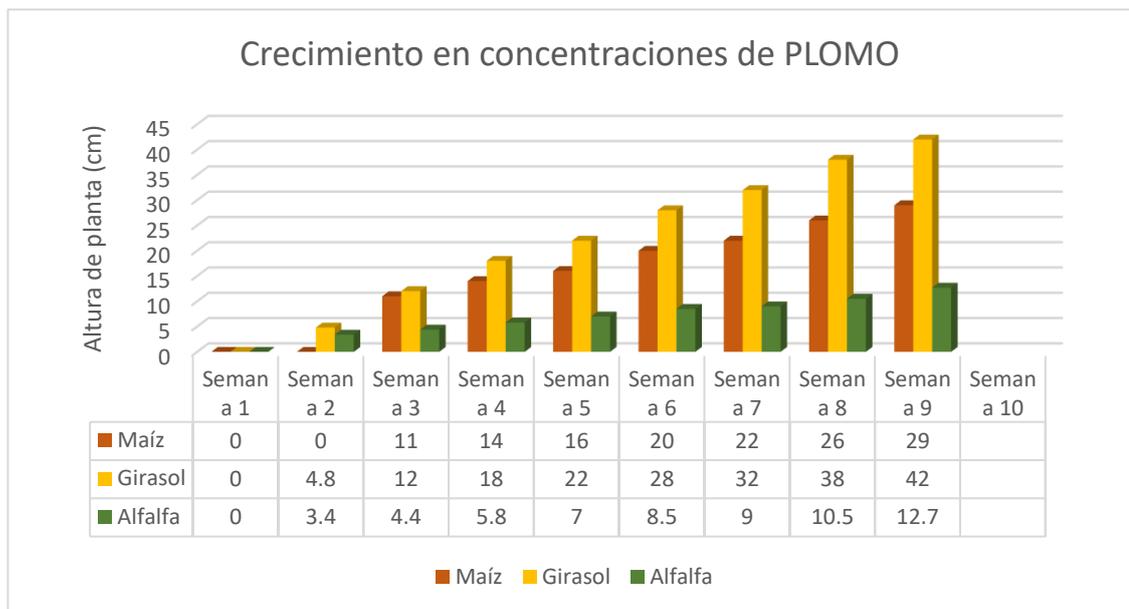
TIPO DE ARTICULO / SERVICIO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	PRECIO REFERENCIAL UNITARIO	PRECIO REFERENCIAL TOTAL
CONSUMIBLE	PLÁSTICO COLOR NEGRO DE 2.00 x 50 MTS	ROLLO	1	S/ 28.00	S/ 28.00
CONSUMIBLE	TUBERÍA DE PVC DE 1/2 "	UNIDAD	5	S/ 12.00	S/ 60.00
CONSUMIBLE	UNIÓN PVC "Y"	UNIDAD	24	S/ 1.50	S/ 36.00
CONSUMIBLE	UNIÓN PVC "T"	UNIDAD	6	S/ 1.50	S/ 9.00
CONSUMIBLE	CODO PVC 1/2 "	UNIDAD	6	S/ 1.00	S/ 6.00
CONSUMIBLE	RECIPIENTE	UNIDAD	1	S/ 50.00	S/ 50.00
CONSUMIBLE	PEGAMENTO DE PVC	LITROS	1	S/ 20.00	S/ 20.00
CONSUMIBLE	MALLA RASHELL	METROS	10	S/ 6.00	S/ 60.00
CONSUMIBLE	ALMACIGO	UNIDAD	75	S/ 2.00	S/ 150.00
CONSUMIBLE	MASCARILLA	CAJA	2	S/ 15.00	S/ 30.00
CONSUMIBLE	GUANTES DE NITRIL	CAJA	2	S/ 26.00	S/ 52.00
ALQUILER	COLORÍMETRO	UNIDAD	5	S/ 100.00	S/ 500.00
--	IMPREVISTOS	--	1	S/ 200.00	S/ 200.00
Sub Total					S/ 1,201.00
TOTAL + IGV					S/ 1,417.18

Fuente: Propia

4.4. Resultados

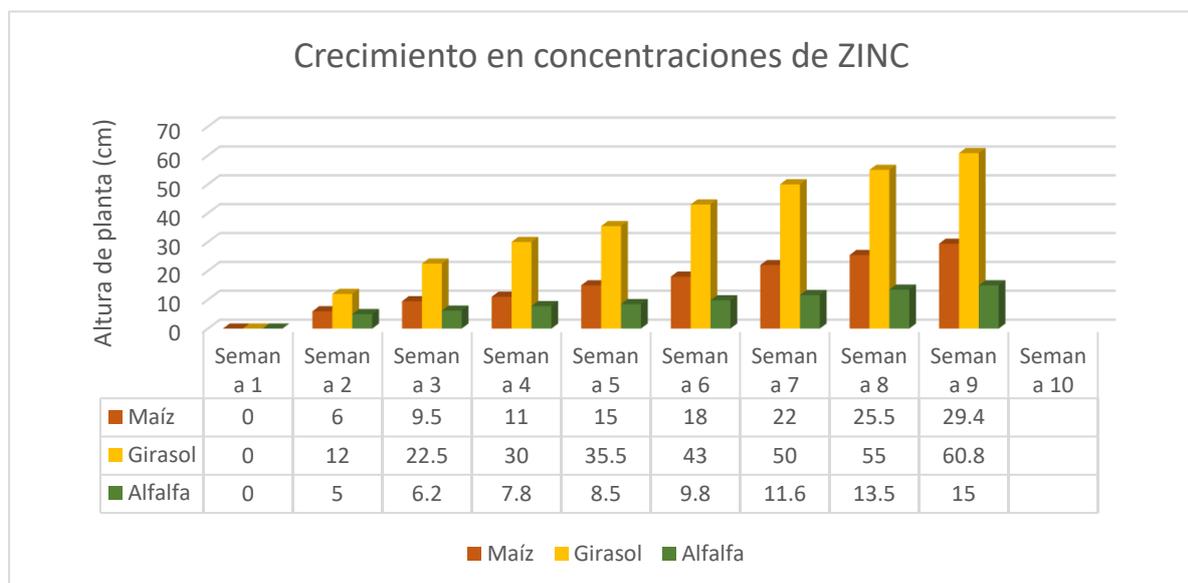
A continuación, se muestran los resultados de crecimiento de los cultivos de maíz (*Zea mays*), girasol (*Helianthus annuus*), y alfalfa (*Medicago sativa*); en función al tiempo y tipo de contaminante en el suelo.

Tabla N°21. Crecimiento en Concentraciones de Plomo



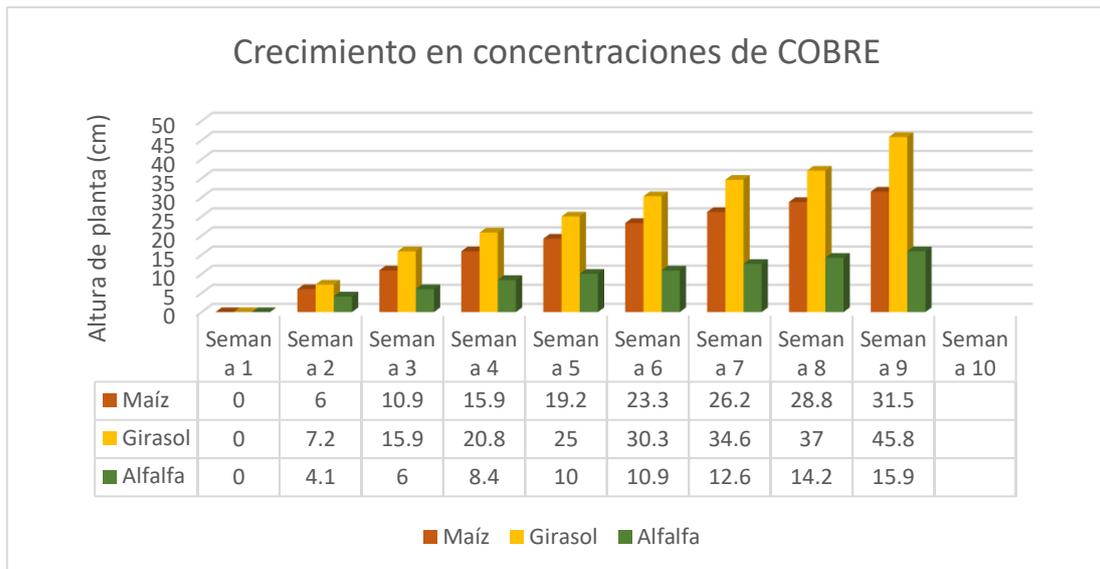
Fuente: Propia

Tabla N°22. Crecimiento en Concentraciones de Zinc



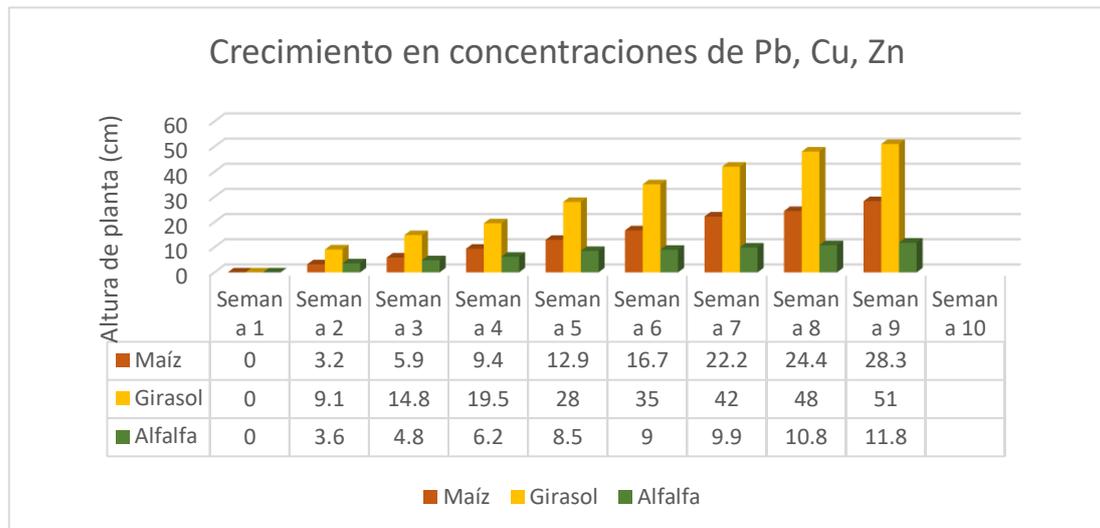
Fuente: Propia

Tabla N°23. Crecimiento en Concentraciones de Cobre



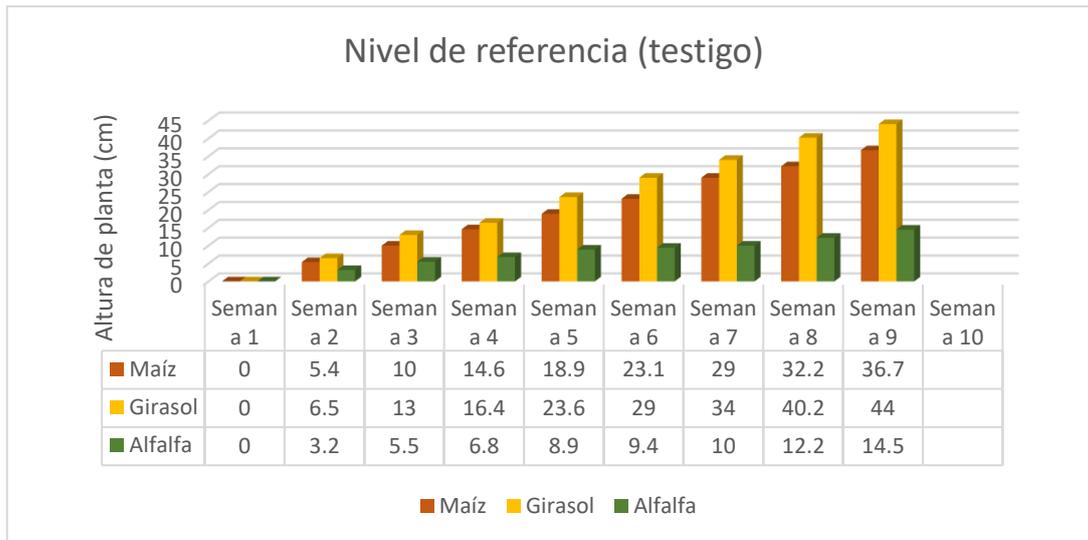
Fuente: Propia

Tabla N°24. Crecimiento en Concentraciones de Pb, Cu, Zn



Fuente: Propia

Tabla N°25. Crecimiento en Concentraciones de Pb



Fuente: Propia

Tabla N°26. Concentración de Metales en Suelo - Parcelas Divididas

Concentración de metales pesados / parcelas divididas							
Parámetros	Orden de parcela (n°)	Muestra de suelo (mg)	Concentración			Valores limite	
			Unidad	Nivel de referencia (suelo testigo)	Resultado de análisis	ECA Suelos	EPA
Plomo	1	250	(mg/kg)	70	1685.4	70	--
Cobre	2	250	(mg/kg)	63	62	--	63
Zinc	3	250	(mg/kg)	200	2800	--	200

Fuente: Propia

Tabla N°27. Concentración de Metales en Suelo - Parcela Combinada

Concentración de metales pesados / parcela combinada							
Parámetros	Orden de parcela (n°)	Muestra de suelo (mg)	Concentración			Valores limite	
			Unidad	Nivel de referencia (suelo testigo)	Resultado de análisis	ECA - Suelos	EPA
Plomo	5	250	(mg/kg)	70	603.9	70	--
Cobre			(mg/kg)	63	438.3	--	63
Zinc			(mg/kg)	200	2150	--	200

Fuente: Propia

Tabla N°28. Concentración de Metales en Plantas - Parcelas Divididas

Concentración de metales pesados / parcelas divididas				
Tratamiento	Muestra (mg)	Concentración (mg/kg)		
		Plomo	Cobre	Zinc
Maíz	560	23.33	97.32	651.78
Girasol	560	29.241	79.91	330.35
Alfalfa	560	141.76	78.57	189.65

Fuente: Propia

Tabla N°29. Concentración de Metales en Plantas – Parcela Combinada

Concentración de metales pesados / parcela combinada				
Tratamiento	Muestra (mg)	Concentración (mg/kg)		
		Plomo	Cobre	Zinc
Maíz	560	30.04	42.94	1205.35
Girasol		116.69	35.17	1473.21
Alfalfa		42.32	46.56	26.78

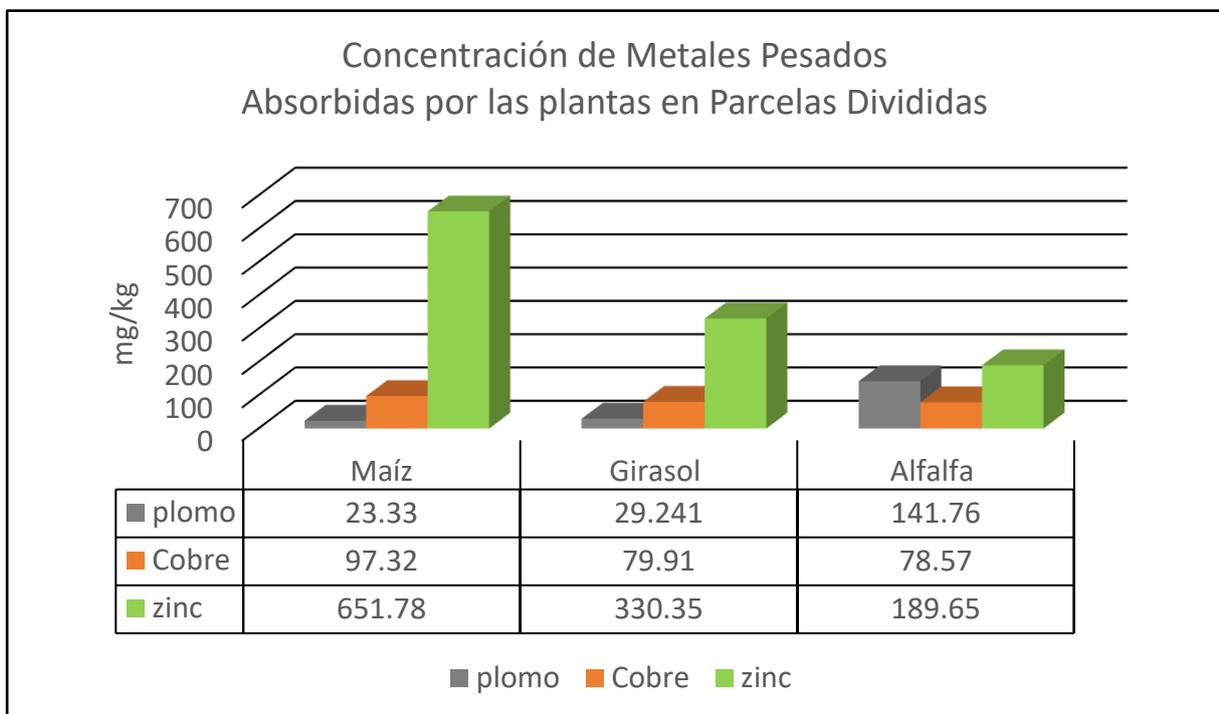
Fuente: Propia

Tabla N°30. Concentración de Cobre - Testigo

Concentración de metales pesados / testigo		
Tratamiento	Muestra (mg)	Concentración (mg/kg)
		Cobre
Maíz	560	62.94
Girasol		32.14
Alfalfa		25.89

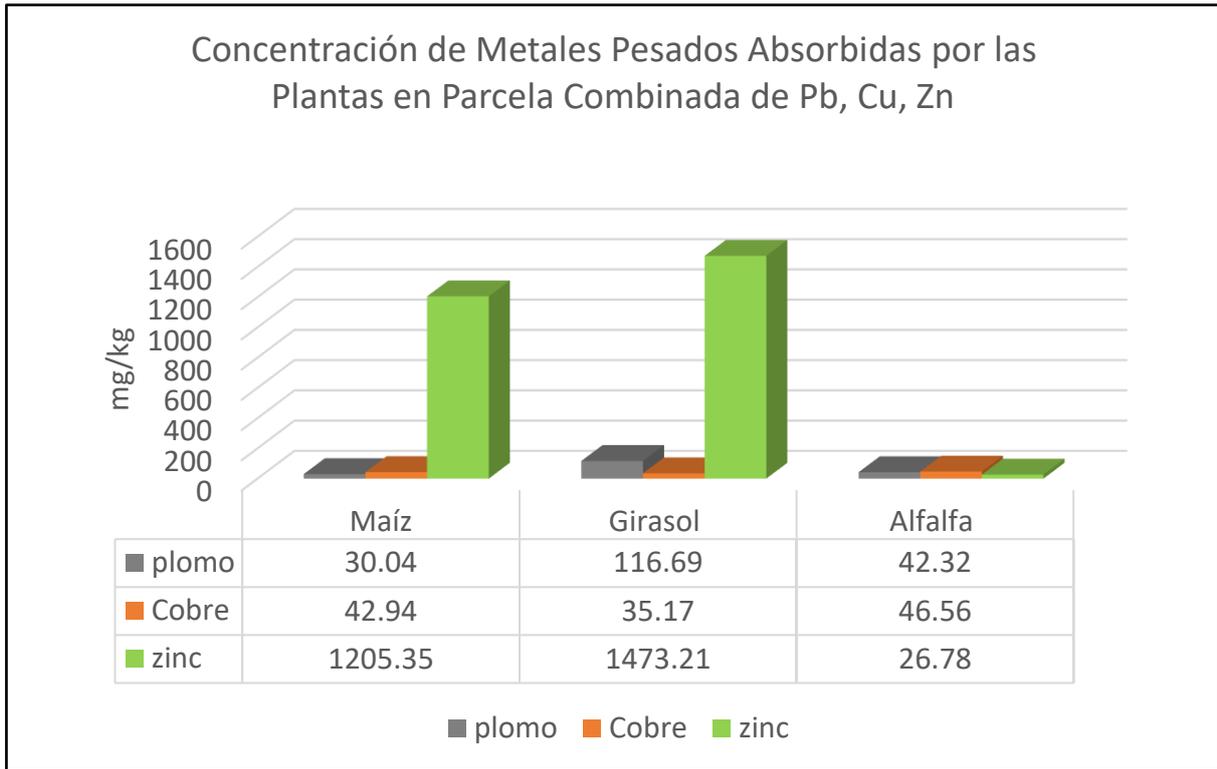
Fuente: Propia

Figura N°44. Concentración de Metales en Plantas - Parcelas Divididas



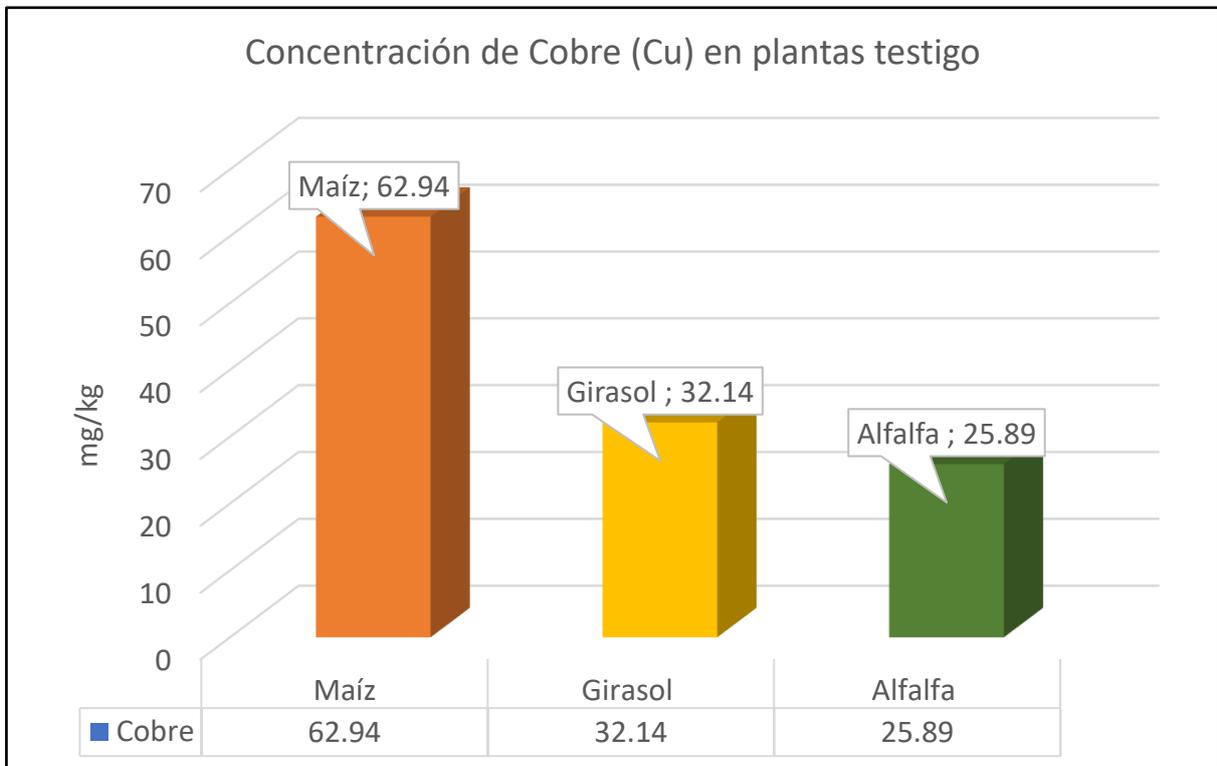
Fuente: Propia

Figura N°45. Concentración de Metales en Plantas - Parcelas Combinadas



Fuente: Propia

Figura N°46. Concentración de Cobre – Plantas Testigo



Fuente: Propia

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN Y SUGERENCIAS

5.1. CONCLUSIONES

- El análisis de las muestras de los suelos con los contaminantes (Pb, Cu y Zn) posterior que se sembraron las plantas (maíz, girasol, alfalfa), se lo realizó con el colorímetro portátil y con ello determinando que las concentraciones de contaminantes bajaron, demostrando que la fitorremediación es manera eficiente en los procesos recuperación de suelos contaminados con metales pesados.
- La preparación de las muestras de los suelos y de las plantas es necesario realizarlo aplicando las técnicas de espectrofotometría, utilizando el equipo de absorción atómica y el método de colorimetría utilizando el colorímetro portátil para el análisis de las soluciones de las muestras en el suelo y las plantas.
- La aplicación de técnicas de análisis espectrofotométricos utilizando el equipo de absorción atómica fue esencial para el análisis de las muestras de suelo y plantas.
- Los resultados obtenidos del proceso de fitorremediación del suelo con las plantas (maíz, girasol, alfalfa) contribuyeron a que el suelo contaminado artificialmente en este trabajo disminuya considerablemente las concentraciones de metales pesados en el suelo de las parcelas o almácigos realizados en este análisis de suelos remediados, demostrando la eficiencia de la fitorremediación.

- La adición de materia orgánica (humus) fue un factor determinante en el proceso de fitorremediación, debido que ayudó a que las especies vegetales (maíz, girasol, alfalfa) presenten un mejor desarrollo en crecimiento y a la mejora de sus características al momento de ser trasplantadas al suelo contaminado, lo que ayudó a generar una mejor absorción y a su vez un mejor desarrollo de las plantas tal como se detalla en las tablas del crecimiento semanal.
- Una correcta toma de muestras del suelo contaminado y de las plantas con un buen almacenamiento, etiquetado y/o señalamiento de las muestras en los empaques o recipientes de laboratorios nos permiten realizar un análisis ordenado y sin confusiones de cada muestra.
- De los resultados obtenidos se concluye que la alfalfa presenta mayor resistencia a la toxicidad del plomo absorbiendo una mayor concentración en su biomasa, por otro lado, el girasol se adapta muy bien a las concentraciones de zinc y cobre, esto se ve reflejado también el rápido crecimiento de la especie, finalmente el maíz es la especie que absorbe la mayor concentración de cobre a diferencia de las demás plantas.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para próximos trabajos es recomendable impermeabilizar las parcelas de los almácigos con un plástico de mayor grosor y resistencia; a su vez verificar que las canales de drenaje estén bien alineados y armados correctamente para evitar filtración de lixiviados y contaminación del suelo aledaño debido a los químicos contaminantes utilizados en este proyecto.
- Para los análisis y ensayos en los laboratorios, en el manipuleo de los químicos se recomienda el uso de barreras o equipos de protección personal como guantes, guardapolvos, mascarillas, gafas, ropa impermeable, otros; para evitar que alguno de los químicos afecte o entren en contacto con los ojos, manos o cuerpo de las personas.
- Realizar más estudios con más especies de plantas o con plantas existentes en las zonas que se quiera remediar los daños ambientales por contaminación de aceites, petróleo, metales o lixiviados varios; para explorar y encontrar nuevas especies hiperacumuladoras de metales que ayuden al suelo y al ecosistema a pasar a un estado menos toxico.
- La Fitorremediación es un estudio ha sido probado en este y varios estudios como una técnica para eliminar contaminación. Por lo tanto, se recomienda usarlo sobre otro conjunto de técnicas costosas y tradicionales para eliminar contaminación de suelo y del agua. Además, es una técnica no destructiva que no crea otras formas de contaminación.

BIBLIOGRAFÍA

- A.Nuñez.L. (2004). Fitorremediación-revista Ciencia-Academia Mexicana. Recuperado el 30 de Agosto de 2009, de <https://www.revistaciencia.amc.edu.mx> › images › revista › Fitorremediación
- abcAGRO. (2014). AGROINFORMACIÓN-MAIZ, CULTIVO. Recuperado el 30 de AGOSTO de 2019, de <http://www.abcagro.com/herbaceos/cereales/maiz.asp>
- Acción, E. e. (1 de Julio de 2008). Ecologistas en Acción. Obtenido de <https://www.ecologistasenaccion.org/17857/fitorremediacion/>
- al, D. e. (1996). Assessment of metal extraction, distribution and contamination in surface soils by a 3-step sequential extraction procedure.
- al, W. e. (2009). A review on investigation of water-preserved coal mining. Obtenido de <https://d-nb.info/1175767034/34>
- Alonso, R. G. (2022). Sembrar 100. Obtenido de <https://www.sembrar100.com/leguminosas/alfalfa/>
- Audet, P. a. (2007). Scientific Research. Obtenido de Heavy Metal Phytoremediation from a Meta-Analytical Perspective: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2006.08.011>
- Biotech, I. (12 de Junio de 2018). Inspira Biotech. Obtenido de <https://inspirabiotech.com/2018/06/12/fitorremediacion-y-eliminacion-de-metales-pesados-en-suelos-contaminados-como-de-expuestos-estamos/>
- Bridge, G. (2004). Annual Reviews. Obtenido de Mining and the Environment: <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.011503.163434>
- C Cervantes, A. E.-S. (2006). Interacciones microbianas con metales pesados. Recuperado el 30 de agosto de 2019, de <https://www.medigraphic.com/pdfs/lamicro/mi-2006/mi062v.pdf>
- Chile, F. (2019). MANUAL DE TECNOLOGÍAS DE REMEDIACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS. Recuperado el 30 de AGOSTO de 2019, de https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/06/Manual-de-Tecnolog%C3%ADas-de-Remediaci%C3%B3n-de-Sitios-Contaminados_baja.pdf
- Dembitsky, V. (2003). Scientific Research. Obtenido de Article Citations: <http://dx.doi.org/10.1016/j.plantsci.2003.08.007>
- EcoHortum. (2014). Recuperado el 30 de agosto de 2019, de como sembrar alfalfa cuando y donde: <https://www.sembrar100.com> › leguminosas › alfalfa
- FAO. (2011). PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO. Recuperado el 30 de AGOSTO de 2019, de <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- Ferlini, H. A. (2017). PROPIEDADES BIOLÓGICAS DEL SUELO. Recuperado el 30 de AGOSTO de 2019, de <https://biologiadelsueloscsudea20132.wordpress.com/propiedades-biologicas-del-suelo/>
- Fernández, A. I. (2016). CONTAMINACIÓN DE SUELOS POR METALES PESADOS. Recuperado el 30 de AGOSTO de 2019, de http://www.infoagro.com/abonos/contaminacion_suelos_metales_pesados.htm
- García. (2009). Capacidad remediadora y bioacumuladora de los órganos de *Helianthus annuus* L. "girasol" cuando son sometidas a diferentes concentraciones de plomo. Recuperado el 30 de Agosto de 2019, de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/4924>
- García, G. N. (2003). Química Agrícola. Madrid: Mundiprensa.

- Gutierrez. (2014). Manejo técnico para el cultivo de girasol. Recuperado el 30 de Agosto de 2019, de <https://sader.jalisco.gob.mx/fomento-agricola-hortofruticola-e-inocuidad/568>
- INTAGRI. (2017). CONDUCTIVIDAD ELECTRICA DEL SUELO EN EL DESARROLLO DEL CULTIVO INTAGRI. Recuperado el 30 de AGOSTO de 2019, de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-conductividad-electrica-del-suelo-en-el-desarrollo-de-los-cultivos>
- J.Falcon. (2016). Fitoextracción de metales pesados en suelo contaminado con Zea mays L. en la Estación Experimental El Mantaro - Junín en el año 2016. Recuperado el 30 de agosto de 2019, de URI: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/4611>
- Jalisco, G. d. (2014). Agricultura y Desarrollo Rural. Obtenido de MANEJO TÉCNICO PARA EL CULTIVO DE GIRASOL: <https://sader.jalisco.gob.mx/fomento-agricola-hortofruticola-e-inocuidad/568#:~:text=Las%20semillas%20de%20girasol%20es,las%20raciones%20de%20los%20rumiantes.>
- Kabata-Pendias, A. a. (1984). Trace Elements in Soils and Plants.
- Maria Csuros, C. C. (16 de Junio de 2019). Environmental Sampling and Analysis for Metals. CRC Press.
- Munive. (2008). Universidad Nacional Agraria la Molina. Recuperado el 28 de 08 de 2019, de recuperacion de suelos degradados por contaminacion con metales pesados en el valle del mantaro mediante compost de stevia y fitoremediacion: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/unalm/3770>
- Munive. (2018). Scientia Agropecuaria. Recuperado el 30 de agosto de 2019 , de Fitorremediación con Maíz (Zea mays L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados: <http://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop>
- Naja, B. V. (17 de Abril de 2008). Biosorption technology: starting up an enterprise. Obtenido de <https://doi.org/10.1504/IJTTC.2007.017806>
- Natalia Rodriguez Eugenio, F. (2019). La contaminación del suelo una realidad oculta. Obtenido de FAO Fiat Panis: <https://www.fao.org/3/i9183es/i9183es.pdf>
- Ramirez, I. (2016). NIVELES DE CADMIO COBRE Y PLOMO EN ALFALFA (Medicago sativa) IRRIGADA CON AGUA RESIDUAL CRUDA, AGUA MEZCLADA EN SUELOS DE LA COMMARCA LAGUNERA. Recuperado el 30 de AGOSTO de 2019, de <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/8314>
- Silver, S. P. (2005). Scientific Research. Obtenido de Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16761169>
- UNASAM. (s.f.). DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE BIOCONCENTRACIÓN Y TRASLOCACIÓN DE METALES PESADOS. UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO, 2013.
- Uruguay, U. d. (2010). Plomo Salud y Ambiente. Obtenido de <https://www.paho.org/uru/dmdocuments/plomo%20salud%20y%20ambiente.pdf>
- US EPA, 2. (2005). Two Decades of Enhancing Children's Environmental Health Protection at the U.S. EPA. Obtenido de Environmental Health: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/EHP1040>

ANEXOS

- Panel Fotográfico

Anexo N°1. Ubicación del área temática	Anexo N°2. Limpieza del lugar
	
Fuente: propia	Fuente: propia

Anexo N°3. Medición de parcelas	Anexo N°4. Limpieza de parcelas
	
Fuente: propia	Fuente: propia

<p>Anexo N°5. Impermeabilización de parcelas</p>	<p>Anexo N°6. Implementación de tuberías y accesorios</p>
	
<p>Fuente: propia</p>	<p>Fuente: propia</p>

<p>Anexo N°7. Capa de gravilla</p>	<p>Anexo N°8. Capa de tierra</p>
	
<p>Fuente: propia</p>	<p>Fuente: propia</p>

<p>Anexo N°9. Intersección de semillas</p>	<p>Anexo N°10. Crecimiento de plantas</p>
	
<p>Fuente: propia</p>	<p>Fuente: propia</p>

<p>Anexo N°11. Trasplantaste de almácigos</p>	<p>Anexo N°12. Medición del crecimiento de plantas</p>
	
<p>Fuente: propia</p>	<p>Fuente: propia</p>

<p>Anexo N°13. Corte de muestra vegetal</p>	<p>Anexo N°14. Secado de muestra</p>
	
<p>Fuente: propia</p>	<p>Fuente: propia</p>

<p>Anexo N°15. Triturado de muestra</p>	<p>Anexo N°16. Rotulado y empaquetado de muestra</p>
	
<p>Fuente: propia</p>	<p>Fuente: propia</p>

Anexo N°17. Parcelas



Fuente: propia

- Plano de Ubicación de la Zona de Estudio

Anexo N°18. Plano de Ubicación del Área Temática



Fuente: propia