



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

TESIS

**RECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS
CON PLOMO (II) A ESCALA PILOTO,
UTILIZANDO GIRASOL (*Helianthus annuus L.*)
CON DIVERSOS TIPOS DE ABONO EN EL
DISTRITO DE SICAYA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR LA BACHILLER:
KARLA AMPARO ESPINOZA GOMEZ**

**ASESOR:
ING. HUAMÁN AYALA SEGUNDO JOSÉ**

HUANCAYO - PERÚ

2019

ASESOR:

ING. HUAMÁN AYALA SEGUNDO JOSÉ

DEDICATORIA

A mis Padres por el apoyo incondicional que demostraron a lo largo de toda mi formación profesional, por la confianza y comprensión que han depositado en mí hoy y siempre.

A mi familia, amigos y docentes que de una u otra manera siempre estuvieron atentos y prestos a brindarme su ayuda desinteresada.

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitir que cumpla uno de mis objetivos a nivel profesional y haberme guiado por un buen camino a lo largo de mi carrera profesional, por brindarme una vida llena de felicidad y fe.

A mis Padres por haberme brindado su apoyo incondicional, sus consejos y darme la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida.

A mis familiares, amigos y Docentes, por sus enseñanzas, consejos, paciencia y el apoyo incondicional que me brindaron para concluir mis estudios.

ÍNDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE	v
GLOSARIO DE ABREVIATURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
Capítulo I	15
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1. Caracterización del problema.	15
1.2. Formulación del problema.	17
1.2.1. Problema general.....	17
1.2.2. Problemas específicos.	17
1.3. Objetivos.....	18
1.3.1. Objetivo general.	18
1.3.2. Objetivos específicos.	18
1.4. Hipótesis.....	18
1.4.1. Hipótesis general.	18
1.4.2. Hipótesis específicas.	18
1.5. Justificación e importancia de la investigación.	19
1.5.1. Justificación.....	19
1.5.2. Importancia.	19
1.6. Limitaciones de la investigación.	20

Capítulo II	21
FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	21
2.1. Marco referencial.	21
2.1.1. Antecedentes de la investigación.....	21
2.2. Marco legal.	26
2.2.1. Leyes.	26
2.2.2. Decretos y resoluciones.....	26
2.3. Marco conceptual.	27
2.4. Marco teórico (teoría y/o modelo).	28
2.4.1. Contaminación ambiental.....	28
2.4.2. Tipos de contaminantes.	29
2.4.2.1. Contaminantes orgánicos.....	29
2.4.2.2. Contaminantes inorgánicos.....	29
2.4.3. Concepto de metales pesados.....	30
2.4.4. Efectos tóxicos de los metales pesados.	31
2.4.5. Contaminación de suelos por metales pesados.	33
2.4.6. Movilización de metales pesados en el suelo.	34
2.4.7. Efecto de los metales pesados en el suelo.....	36
2.4.8. Efecto de los metales pesados en los seres humanos.....	37
2.4.9. Fitorremediación.....	38
2.4.9.1. Tecnología de fitorremediación.	41
2.4.9.2. Ventajas y desventajas de la fitorremediación	42
2.4.9.3. Fitoextracción.....	43
2.4.9.4. Fitoestabilización.....	46
2.4.9.5. Fitovolatilización.....	47
2.4.9.6. Rizofiltración.....	48
2.4.10. Plantas hiperacumuladoras de metales pesados.	48
2.4.11. Girasol (<i>Helianthus annuus L.</i>).....	50
2.4.11.1. Taxonomía y morfología.....	50
2.4.11.2. Necesidades de la planta.	51

2.4.11.3. Mecanismo de funcionamiento de los metales pesados a través de la absorción, transporte y tolerancia.....	52
Capítulo III.....	53
PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.....	53
3.1. Metodología.....	53
3.1.1. Tipo de investigación.....	54
3.1.2. Nivel de investigación.....	54
3.2. Diseño de la investigación.....	55
3.2.1. Universo.....	55
3.2.2. Población.....	55
3.2.3. Muestra.....	56
3.3. Variables.....	56
3.3.1. Variable independiente.....	56
3.3.2. Variable dependiente.....	56
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de información.....	56
3.4.1. Técnicas de la investigación.....	56
3.4.2. Instrumentos.....	56
3.5. Procesamiento de la información.....	57
3.5.1. Medidas (tendencia central y/o dispersión).....	57
3.5.2. Representaciones.....	57
3.5.3. Comprobación de la hipótesis.....	57
Capítulo IV.....	58
ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	58
4.1. Resultados.....	58
4.2. Porcentajes de remoción de plomo en el suelo.....	60
4.3. Prueba de normalidad para el porcentaje de remoción de plomo después de los tratamientos empleados.....	61
4.4. Comparativo medio de los tratamientos con el testigo.....	64
4.5. Niveles comparativos de plomo después de los tratamientos.....	65

4.6. Análisis de plomo en la planta.	68
CONCLUSIONES	70
RECOMENDACIONES	71
BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXOS	74
Anexo 1: Canal de riego PLAN MERYYS, Orcotuna-Sicaya- Pilcomayo.....	74
Anexo 2: Identificación de área (3200m ²).....	74
Anexo 3: Sembrío de las semillas de Girasol (Helianthus annuus L.).....	75
Anexo 4: Plántulas a 12 días de sembrío (cuidado).....	75
Anexo 5: Plántulas a un mes de sembrío (cuidado, desahijamiento y Abonado).....	76
Anexo 6: Cosecha de las plántula Helianthus annuus L.	76
Anexo 7: Estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo – 2017	77

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

- Pb : Plomo.
- ECA : Estándar de Calidad Ambiental.
- LMP : Límite máximo permisible.
- ppm : Partes por millón.
- Ha : Hectárea.
- PCs : Molécula fitoquelatinas.
- MTs : Molécula metalotioninas.
- CIC : Capacidad de intercambio catiónico.
- CaCo₃ : Carbonato de calcio.
- ICP : Espectrofotometría por absorción atómica de masas que cuantifica la concentración de metales.
- Redox : Reacción de reducción y oxidación, reacción química de transferencia de electrones entre reactivos, alterando el estado de oxidación.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Mecanismo del proceso de fitorremediación	41
Tabla 2:	Diseño de la investigación.....	55
Tabla 3:	Datos iniciales del terreno en estudio.....	59
Tabla 4:	Porcentajes de remoción de plomo en el suelo.....	60
Tabla 5:	Análisis de varianza con la prueba de Fisher.....	62
Tabla 6:	Análisis de varianza	62
Tabla 7:	Análisis de la concentración de plomo en el suelo después del tratamiento, comparados con el ECA.....	65
Tabla 8:	Caracterización físico química del suelo después de los tratamientos	67
Tabla 9:	Datos finales después del estudio	68

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Sistema de descontaminación de iones metálicos durante el proceso natural de la fitorremediación	39
Gráfico 2: Proceso de fitorremediación	40
Gráfico 3: Procesos implicados en la fitoextracción de suelos contaminados	45
Gráfico 4: Fases implicadas en el proceso de fitoestabilización de suelos contaminados.....	46
Gráfico 5: Florecimiento del girasol	51
Gráfico 6: Gráfica de la normalidad del porcentaje de remoción	61
Gráfico 7: Porcentaje de remoción comparado con los tipos de lote con diferentes abonos	63
Gráfico 8: Comparación del porcentaje de remoción con el testigo	64
Gráfico 9: Comparación de plomo en el suelo, después del tratamiento comparado con el ECA.....	66
Gráfico 10: Comparativo de los niveles de plomo absorbidos por la planta	69

RESUMEN

El presente estudio de investigación tuvo como objetivo: Recuperar los suelos contaminados con plomo (II) a escala piloto utilizando girasol con diversos tipos de abono en el distrito de Sicaya. Se trabajó en un terreno de 3200 metros cuadrados divididos en cuatro lotes (testigo, abono comercial, abono natural y técnicas agroecológicas) subdivididas en cuatro repeticiones cada una, donde se sembró girasol (*Helianthus annuus L.*), con la finalidad de evaluar su capacidad fitorremediadora utilizando diversos abonos. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: La concentración inicial de plomo antes del estudio fue de 185.25 ppm, lo que excede en un 264 % al ECA para suelos agrícolas. Al ejecutar el estudio con abono comercial superfosfato triple genera un porcentaje de remoción más elevado que los demás tratamientos (71.82 %), Sin embargo los otros tratamientos tienen trascendencia estadística ya que tienen elevada tendencia de remoción y no son despreciables desde el punto de vista experimental con 62.68 % y 54.60 % para estiércol de ovino y de abono de chala, respectivamente). Además las plántulas de girasol con abono comercial concentraron mayor cantidad de plomo en su interior (25.22 ppm) en contra posición al porcentaje de plomo removido (71.82 %) por dicho tratamiento. Concluyendo que todos los tratamientos tienen efectos eficaces de remoción, alcanzando un nivel de remoción elevado el tratamiento con abono comercial que logra reducir las concentraciones de plomo (II) por debajo del nivel del ECA para suelos agrícolas (52.19 ppm); el segundo mejor resultado es para el abono natural con estiércol de ovino que logra bajar relativamente las concentraciones de plomo (II) respecto al ECA (69.14 ppm).

ABSTRACT

The objective of this research study was to: Recover soil contaminated with lead (II) on a pilot scale using sunflower with various types of fertilizer in the district of Sicaya. We worked on a plot of 3200 square meters divided into four batches (control, commercial fertilizer, natural fertilizer and agroecological techniques) subdivided into four replications each, where sunflower (*Helianthus annuus L.*) was planted, in order to evaluate its phytoremediation capacity using different fertilizers. The results obtained were the following: the initial concentration of lead before the study was 185.25 ppm, which exceeds by 264 % the ECA for agricultural soils. When executing the study with commercial fertilizer triple superphosphate generates a higher percentage of removal than the other treatments (71.82 %), however the other treatments have statistical significance because they have a high removal tendency and are not negligible from the experimental point of view 62.68 % and 54.60 % for sheep manure and chala manure, respectively). In addition, sunflower seedlings with commercial fertilizer concentrated a greater amount of lead inside (25.22 ppm) in contraposition to the percentage of lead removed (71.82 %) by said treatment. Concluding that all treatments have effective removal effects, reaching a high level of removal, the treatment with commercial fertilizer that manages to reduce the concentrations of lead (II) below the level of the ECA for agricultural soils (52.19 ppm); the second best result is for the natural fertilizer with sheep manure that manages to lower relatively the concentrations of lead (II) with respect to the ECA (69.14 ppm).

INTRODUCCIÓN

Actualmente la contaminación ambiental se ha convertido a nivel mundial en una problemática debido a los diferentes factores, así como el crecimiento poblacional, los diferentes tipos de actividades generadas por el hombre y la falta de cultura ambiental han ocasionado serios y graves problemas a todos los factores ambientales. Está claro entonces que todo aspecto productivo sobre todo el aspecto agrícola pecuario es completamente afectado y deteriorado convirtiéndose en una bomba de tiempo, generando paulatinamente efectos adversos a la salud de los seres vivos especialmente al ser humano; siendo afectados con los residuos xenobióticos. En nuestro valle la situación contaminante no es una excepción pues los campos de cultivo son irrigados con aguas del río Mantaro que contiene concentraciones de metales pesados, entre ellos el plomo. El distrito de Sicaya se ha caracterizado porque en muchas investigaciones se han hallado concentraciones de plomo en demasía; el presente estudio tiene por objetivo recuperar éstos suelos con el girasol (*Helianthus annuus L.*) como planta fitorremediadora abonada con diversos tipos de abonos y determinar con cuál de éstos abonos su capacidad remediadora incrementa, el objetivo principal es la recuperación de los suelos agrícolas del distrito de Sicaya.

Algunos estudios de investigación, se basan en el funcionamiento del sistema acumulativo de iones de metales en los tejidos de las plantas. La investigación sobre la aplicación de la tecnología de fitorremediación apunta a la comprensión durante procesos moleculares que se relacionan a eliminar los iones de metal. Para asegurar la eficacia en recuperación de suelos contaminados con plomo (II), deberíamos implementar la técnica de fitorremediación para limpiar los metales pesados, especialmente en suelos agrícolas con presencia de contaminantes; tener en cuenta siempre sobre los datos recolectados durante los estudios en campo, siendo estos importante para validar los resultados obtenidos por el laboratorio certificado.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Caracterización del problema.

En el valle del Mantaro, los agricultores hacen uso del agua del río Mantaro más de 70 años aproximadamente, la población en general hasta la fecha vienen irrigando sus sembríos agrícolas (maíz, papa, habas, zanahoria, alcachofa, forrajes, etc.) con agua del río Mantaro, con contenidos altos en metales pesados (Cr, Cu, Fe, Hg, Pb, Cd, Ni, Zn) y metaloides (As) provenientes de las diferentes operaciones de los centros mineros y la planta metalúrgica de la Oroya (Proyecto Mantaro Revive, 2008) en la cuenca alta del río Mantaro, como consecuencia de ello, los suelos presentan altas concentraciones de estos metales provocando la pérdida de la calidad productiva del suelo, así mismo son afectados los acuíferos superficiales y subterráneos (Prieto, 2009). Existen más de 37 060 usuarios de riego que irrigan 57 754 ha de suelo agrícolas con agua contaminada y que representan el 36% de la superficie total irrigada (Ministerio de Agricultura, 2011).

Los altos niveles de metales en agua que sobrepasan los límites establecidos en la naturaleza, son utilizadas para riego, por ello esto representa un problema importante para la población en la agricultura, la

ganadería, la salud humana ocasionando efectos nocivos durante su ciclo adecuado y la degradación de la biodiversidad (flora y fauna). La problemática de los metales pesados y de los metaloides presentes en la composición del agua es que son utilizadas durante el riego de sus áreas agrícolas, de tal forma al estar en contacto son acumuladas en los suelos irrigados; por ende resultan ser dañinos y peligrosos porque hasta en concentraciones pequeñas son altamente tóxicas, no se degradan con facilidad gracias a la biodisponibilidad que ejercen en los cultivos durante la transferencia a la cadena trófica (García, & Dorronsoro, 2005).

Para el sembrío de cultivos alimenticios, los agricultores del distrito de Sicaya hacen uso de las aguas del sistema de irrigación pertenecientes al río Mantaro (PLAN MERIS). La cuenca del río Mantaro durante su transcurso recibe descargas de diversos tipos de aguas contaminadas provenientes de industrias, centros mineros con 32 vertimientos pertenecientes a 9 empresas y aguas residuales generadas por aproximadamente 43 distritos. Cabe recalcar que se cuenta con 272 pasivos mineros y la formación de puntos críticos por la generación de botaderos ilegales pertenecientes a 34 centros poblados. Una de las empresas más cercanas al punto de toma del canal de irrigación es la empresa minera del centro de Perú “Doe Run Perú” (antes conocida como Centromín Perú). (El Mantaro revive, 2007).

El *Helianthus annuus* L. (Girasol), es una de las plantas más estudiadas en diferentes laboratorios, así como en investigaciones realizadas en campo para validar los resultados obtenidos en laboratorio y generar una nueva oportunidad de tratamiento de suelo en la industria ecológica; es un candidato con más alternativas entre las plantas terrestres estudiadas para la limpieza de metales pesados y radio nucleídos. *Helianthus annuus* L., es considerada como una de las plántulas importantes implementadas en la tecnología de fitorremediación de suelos especialmente para la eliminación de contaminantes como iones de metales y polutantes orgánicos. El coeficiente de esta fitoextracción es más alto usando las plántulas del girasol a diferencia de

otros cultivos de plantas destinadas para el proceso de remediación; tiene alto rendimiento y es de bajo costo (Prasad, & M.N.V., 2007).

Por estas razones, es importante evaluar las propiedades físico químicas del suelo durante los estudios de investigación parámetros como el pH, la conductividad eléctrica, temperatura, textura, CIC (capacidad de intercambio catiónico) y concentraciones de materia orgánica.

Además es necesario evaluar el análisis químico para determinar la presencia de metales, especialmente se incide con la presencia de plomo y mediante estas concentraciones aplicar tecnologías para la recuperación de suelos mediante la técnica de fitoextracción.

1.2. Formulación del problema.

1.2.1. Problema general.

¿Será posible la recuperación de suelos contaminados con plomo (II) a escala piloto utilizando girasol con diversos tipos de abono en el distrito de Sicaya?

1.2.2. Problemas específicos.

- ¿Cuáles serán las características físico químicas del suelo agrícola a escala piloto a recuperar, antes y después del estudio?
- ¿Cuál será la concentración de plomo retenida en el suelo agrícola a escala piloto antes y después del estudio utilizando el girasol (*Helianthus annuus L.*) con diversos tipos de abono en el distrito de Sicaya?
- ¿Cuál será la cantidad de plomo (II) removida a escala piloto por el girasol (*Helianthus annuus L.*) utilizando diversos tipos de abono en el suelo agrícola del distrito de Sicaya?

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo general.

Recuperar los suelos contaminados con plomo (II) a escala piloto utilizando girasol (*Helianthus annuus L.*) con diversos tipos de abono en el distrito de Sicaya.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Determinar las características físico químicas del suelo agrícola a escala piloto antes y después del estudio.
- Determinar la concentración de plomo retenida en el suelo agrícola a escala piloto antes y después del estudio utilizando el girasol (*Helianthus annuus L.*) con diversos tipos de abono en el distrito de Sicaya.
- Determinar la cantidad de plomo (II) removida a escala piloto por el girasol (*Helianthus annuus L.*) utilizando diversos tipos de abono en el suelo agrícola del distrito de Sicaya.

1.4. Hipótesis.

1.4.1. Hipótesis general.

La recuperación de suelos a escala piloto se da en un 30% utilizando abono del tipo comercial.

1.4.2. Hipótesis específicas.

- Las propiedades físico químicas en suelos agrícolas están afectados por la presencia del metal pesado plomo (II) antes del estudio y reducirán su afectación con el proceso de crecimiento del *Helianthus annuus L.*
- Las concentraciones de plomo retenidas en el suelo agrícola en estudio superarán los ECA (estándares de calidad ambiental) y LMP (límites máximos permisibles) establecidos para suelos antes del estudio y reducirán su concentración luego de aplicar la investigación.
- La concentración de plomo (II) removida a escala piloto por el girasol (*Helianthus annuus L.*) al final de la investigación es

en un 20% más considerable usando abono comercial, que otro tipo de tratamiento respecto a los datos iniciales del estudio.

1.5. Justificación e importancia de la investigación.

1.5.1. Justificación.

Los daños causados a los seres vivos por metales se dan a causa de la presencia de pequeñas o altas concentraciones dentro de la naturaleza generando efectos nocivos; uno de estos es el plomo considerado como uno de los elementos más distribuidos en el ambiente este contaminante se puede encontrar en el suelo, recursos hídricos y atmosfera.

Las concentraciones de metales en suelos agrícolas originan una baja producción de los alimentos cultivados y el excesivo uso de agroquímicos para recuperar los niveles de producción óptimos del suelo disminuirán la concentración de nutrientes naturales; tomando estos aspectos es necesario darle el tratamiento adecuado de los suelos para una buena producción implementando técnicas agroecológicas.

1.5.2. Importancia.

Es importante el estudio de investigación por que se da a conocer y difundir los resultados de la aplicación de una tecnología para la recuperación de suelos contaminados implementando la técnica de fitorremediación, con la finalidad que sea difundida a nivel local y regional; mejorando la calidad de producto obtenido ambientalmente durante la remediación de suelos contaminados implementando técnicas ecológica y sanitarias, además de mejorar indirectamente la calidad de vida del productor generando impactos positivo socioculturales y ambientales.

1.6. Limitaciones de la investigación.

La limitación durante el proceso de investigación será tener la disponibilidad de un terreno o parcela cerca al río Mantaro y/o canal de irrigación del PLAN MERIS.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco referencial.

2.1.1. Antecedentes de la investigación.

(Soraya P., 2006) realizó un estudio de investigación enfocada en la pérdida de la calidad del suelo ocasionada por la extracción minera, en la Universidad Autónoma de Chihuahua, los centro de estudios de la Facultad de Zootecnia, se implementó varias técnica para la extracción de suelos contaminados y su posterior análisis, tubo limitaciones físicas, químicas y biológicas para el establecimiento de vegetación durante su cultivo y la generación de algunos riesgos a la salud por la existente concentración de varios tipos de metales pesados generados por las empresas mineras. Los resultados obtenidos en el proceso de investigación muestran que la zona con mayor concentración de metales se da en sitios cercanos a los apilamientos de rocas molidas, su concentración baja a medida que se aleja de las zonas rocosas. Todos los elementos sobrepasan los rangos establecidos por las agencias internacionales, algunos metales como el arsénico se asocian con facilidad a la fuente, textura y materia orgánica de las

concentraciones de plomo; la presencia de zinc y cadmio establecen cierta distancia a la fuente, pH, CIC y materia orgánica del suelo.

Asimismo menciona (Portugal C y Cols. Los Humos de Doe Run, 2003), que en el Perú se encuentran suelos contaminados a causa de los derrames de residuos mineros generados por diversas empresas, entre una de ellas la Fundación Minera de La Oroya. La Asociación Interamericana del Ambiente también hace mención sobre la calidad ambiental de la Oroya y su entorno global, el cual reporta su deterioro severamente desde que la empresa Doe Run Perú se hizo cargo de sus procesos durante su funcionamiento, según los análisis de evaluación de contaminación de la empresa la presencia de gases de metales se incrementó en el aire en porcentajes muy representativos como el plomo en 1160%, cadmio 1990% y arsénico 606 %.

Según (McGrath, 2001), algunos estudios han demostrado que la fitorremediación es una alternativa de solución prometedora para la limpieza y remediación de áreas contaminados por una variedad de metales pesados, aunque las limitaciones fueron un factor primordial durante la investigación. Una de las tecnologías para limpiar suelos contaminados involucra el uso de plantas con capacidad de remover, transportar, degradar o acumular contaminantes tóxicos presentes en los suelos, recursos hídricos, atmósfera que son afectadas por los derrames de metales, sedimentos, plaguicidas, hidrocarburos, fertilizantes, elementos radioactivos y procesos naturales (Singh, 2003).

El éxito de fitotecnología, como una tecnología de remediación del medio ambiente donde integra factores que ayudan en el grado de descontaminación del suelo, disponibilidad de la absorción de las raíces y la capacidad de metabolismo de las plantas durante la absorción, transporte y acumulación de los metales en los brotes. Más del 80% de los proyectos de

remediación en Estados Unidos están dirigidos hacia el control de contaminantes orgánicos (EPA 2001, & Volke, 2002).

Diferentes estudios mencionados por (Rugh, 1996; Rugh, 1997; & Heaton, 1998), demuestran la posibilidad de tratamientos de suelos contaminados con mercurio mediante la fitorremediación empleando especies vegetales, genéticamente alteradas, que reducen Hg²⁺ a Hg. Según (Cunningham S., Berti W.R., & Huang, 1995), analizaron las enmiendas para el tratamiento del suelo teniendo en cuenta que es uno de los componentes más involucrados como sumidero en los procesos de polución y su uso para tratamientos en el proceso de fitorremediación. Mediante la implementación de Ray Grass se obtuvo nutrientes modificados y enmendados sin plantas durante los procesos de remediación para suelos con contaminantes tóxicos utilizando pentaclorofenol o hidrocarburos aromáticos policíclicos, el cual se obtuvieron resultados positivos.

(Ángeles G., 2005), realizó un estudio de investigación sobre la recuperación de suelos contaminados, eliminando metales pesados mediante el uso de plantas y microorganismos rizosféricos, en la Universidad Autónoma Chapingo de la ciudad de México. Se hace referencia al uso e implementación de nuevas tecnologías como la técnica de fitorecuperación y la biorecuperación utilizando dos tipos de técnicas para la el cuidado del suelo previniendo la contaminación por metales, en agua y también en aire; los resultados para la investigación son positivos ya que es recomendable por su alternativa de bajo costo y con enormes ventajas ambientales. Asimismo, se han reportado varias evidencias de que no todas las plantas tienen un potencial benéfico para extraer metales del suelo a través de la absorción, pero hay plantas con la capacidad de acumular contaminantes mediante la absorción extrayendo altos niveles de concentración de metales pesados a través del sistema radicular, en algunos casos podrían ser tóxicos para otros organismos que no cuentan

con capacidades de tolerar los contaminantes. Por ello aquellas plantas con capacidad de acumular gran cantidad de metales por tiempos prolongados son denominadas hiperacumuladoras (Deng H., 2004).

Según (Singh & Jain, 2003), mencionan algunos pastizales que son de género más asequible durante la implementación de la técnica de fitorremediación ya sean de orígenes orgánicos e inorgánicos de los metales pesados; desarrollo y adaptabilidad durante su crecimiento. La variedad "Criollo 98" tiene buenas cualidades y características que permiten que su capacidad en la remediación de suelos contaminados se eficaz, implementando el uso de la técnicas de fitorremediación (Pérez, et al., 2005).

(Lombi E., Dunham S., & McGrath SP., 1926), realiza investigaciones sobre las plántulas de la familia perteneciente a las Asteraceae, en el cual se ha reportado algunos estudios donde el *Sonchus oleraceus* y *Helianthus annuus* son tolerantes al plomo, por ello se han propuesto como una más de las especies fitorremediadoras de ambientes contaminados (suelo, agua y aire) con concentraciones de metal pesado. Algunos estudios mencionan que los suelos contaminados con zinc y cadmio pueden ser remediados haciendo uso de plantas de la variedad de especie *Thlaspi caurulencens*, el cual logra reducir más de 8 mg/kg de cadmio y 200 mg/kg de zinc, estos valores son representados en base a los resultados obtenidos con un 43 % y 7 % después del tratamiento realizado en suelos agrícola (Xiong, 1997).

El *Helianthus annuus L.* es una planta con gran capacidad de absorción de los metales pesados en concentraciones elevadas, mediante la acumulación especialmente en las raíces y a través de brotes durante la cosecha de biomasa entera de la planta. Por ello se le considera como una plántula con capacidad hiperacumuladora favorable en la fitoextracción de cadmio, zinc, plomo y elementos radiactivos (Christie, 2004).

El Girasol (*Helianthu annuus L.*) planta con una alta capacidad radicular de absorber agua de fase subterránea extrayendo en un porcentaje de 10 hasta 25 % de metales considerados tóxicos para el suelo, además de ello cabe recalcar que su desarrollo en varios estudios de germinación son ampliamente aceptables y reconocidas por su capacidad fitorremediadora. En el suelo los metales se pueden quedar retenidas mediante el proceso de absorción y su incorporación hacia las cadenas tróficas los niveles obtenidos durante el crecimiento de las plántulas de esta especie, en medios contaminados fueron superiores los niveles de crecimiento y desarrollo de las plántulas a diferencia de condiciones no contaminadas (trasplante y adaptación) (Herzing R., 2003).

El girasol es una especie que absorbe metales pesados en grandes cantidades por lo que se considera una planta hiperacumuladora para cadmio, zinc y plomo (Christie, et al., 2004; Reeves, 2003; Davies, et al., 2002). También se ha reportado como hiperacumuladora para Cr (III) y Cr (VI) (De la Rosa et al., 2008; Davies et al., 2002), As, Bi, Cu, Mn, Pb, Sb, Ti y de contaminantes radioactivos (Navarro Aviñó, Aguilar Alonso, & López Moya, 2007).

Las plantas utilizadas en la limpieza de suelos contaminados por metales deben ser tolerantes a estos elementos, adaptadas al suelo y las características del clima, capaces de tomar grandes cantidades de metales ya que en su función incluyen la movilización de los metales pesados (Keller, et al., 1994). Por lo general, las plantas consideradas para fitoextracción de metales son especies hiperacumuladoras capaces de tolerar niveles extraordinarios de elementos metálicos, de tal forma se obtiene la biomasa de alta producción de especies tales como el maíz, el tabaco y girasol; por ende se da la compensación acumulativa de metales pesados moderado por el rendimiento de la biomasa (Cherian S., 2005).

El cultivo del girasol (*Helianthus annuus L.*), es oleaginoso tolerable a las estaciones de sequías, busca soluciones de eliminación de contaminantes; por ello es una planta considerada hiperacumuladora y prometedora para eliminar los metales pesados en suelos agrícolas tales como plomo, zinc o cobre (Mani D., 2007), y varios radio nucleídos del ambiente contaminado (Cooney C., 1996).

La acumulación de metales pesados en brotes depende de tres mecanismos claves: la translocación, solubilidad y la absorción por las raíces del metal (Vassilev et al., 2004). Los factores que intervienen en el suelo tales como el pH, conductividad eléctrica (CE), la capacidad de intercambio catiónico (CEC) y el porcentaje de concentración de materia orgánica podrían afectar gravemente durante la biodisponibilidad y transporte de los metales en los tejidos internos de las plantas empleadas (Ghosh M. & Singh S., 2005).

2.2. Marco legal.

2.2.1. Leyes.

- Ley general del ambiente. Ley N° 28611.
- Ley de recursos hídricos. Ley N° 29338.
- Ley general de salud. Ley N° 26842.

2.2.2. Decretos y resoluciones.

- Aprueban reglamento de la Ley N° 29338, ley de recursos hídricos. Decreto supremo N° 001-2010-AG.
- Aprobación de las disposiciones complementarias para la aplicación de los estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo. Decreto supremo N° 002-2014-MINAM.
- Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo. Decreto supremo N° 011-2017-MINAM.
- Aprueban criterios para la gestión de sitios contaminados. Decreto supremo N° 011-2017-MINAM.

- Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA.

2.3. Marco conceptual.

Suelo: Material no consolidado compuesto por materia orgánica e inorgánica, agua, aire, microorganismos y componentes nutritivos que ayudan en la producción; comprende varias capas desde la fase superficial terrestre hasta los niveles profundos de la fase subterránea (Soraya P., 2006).

Suelo agrícola: Suelo dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados; con una aptitud para el crecimiento de cultivos con mantención de un hábitat para especies de flora y fauna nativa (D.S.N°012-2017-MINAM, 2017).

Contaminante: Generación de cualquier sustancia química relacionada a actividades antrópicas que pueden causar efectos adversos para la salud de los seres vivos y calidad ambiental (D.S.N°012-2017-MINAM, 2017).

Remediación: Es la eliminación o reducción a niveles aceptables de un elemento tóxico que pueden ocasionar riesgos a la salud de los seres humanos o ambiente, también son acciones que permiten lograr el restablecimiento de un área afectada por impactos negativos (Deng H., 2004).

Muestreo: Permite determinar el volumen, área, concentración de suelo contaminado, la calidad y distribución del contaminante en el área, la generación de otros componentes ambientales; se desarrolla en base a un modelo conceptual y caracterización del sitio (D.S.N°012-2017-MINAM, 2017).

Absorción: Proceso por el cual sustancias tóxicas disueltas ingresan al interior de una membrana de la célula, tejido u organismos (D.S.N°012-2017-MINAM, 2017).

Biodisponibilidad: Características de una sustancia tóxica que tiene la facilidad de incorporarse a otros cuerpos mediante mecanismos, ingesta

o absorción y tiene influencia sobre diferentes parámetros (Ángeles G., 2005).

Concentración: Relación de una sustancia disuelta en cantidad dada de otra sustancia (Cunningham S., Berti W.R., & Huang, 1995).

Microorganismos: Seres vivos microscópicos que cuentan con un sistema biológico diminuto con características individuales y organización biológica elemental (Singh O., 2003).

2.4. Marco teórico (teoría y/o modelo).

2.4.1. Contaminación ambiental.

Este tipo de problema ambiental es considerada como una de las fuentes más importantes que afecta directamente al mundo y su entorno natural produciéndose un desequilibrio a causa de la adición de cualquier tipo de sustancia que puede resultar tóxico en el ambiente, donde las concentraciones de los contaminantes están asociadas a los ciclos biológicos, agentes físicos, químicos el cual pueden ser alteradas por actividades generadas por el hombre como las prácticas agrícolas, actividades industriales, entre otras; esto puede traer consigo efectos nocivos en el hombre, en los animales, vegetales o materiales expuestos a dosis que sobrepasen los niveles establecidos por las normas legales actuales. A medida de que hombre viene realizando sus actividades dentro de los entornos naturales y la aplicación de los avances tecnológico, cada día aparecen más necesidades a consecuencia del deterioro progresivo del medio ambiente (Deng H., 2004).

El progreso tecnológico en el transcurrir del tiempo va creciendo, así como la generación de impactos al medio ambiente atentando contra el equilibrio biológico de la tierra. Es importante la práctica y armonización de los avances de la civilización y el mantenimiento del equilibrio ecológico para evitar posibles alteraciones, ya que la contaminación ambiental puede

causar daños nocivos a la salud de los seres humanos. Por ello, es necesario tomar conciencia sobre el saneamiento del ambiente siendo la principal fuente para la vida del planeta de tal manera se protejan los recursos renovables (Soraya P., 2006).

2.4.2. Tipos de contaminantes.

Según (Ángeles G., 2005), la contaminación se origina a causa de las actividades generadas por la mano del hombre y durante el proceso natural (vulcanismos, degradación rocosa, entre otros); esto afecta indistintamente a cada ambiente mediante sus factores y características de los ecosistemas; su metabolismo estructural son modificadas negativamente.

Existen dos tipos de contaminantes con diferentes orígenes, el cual tienen efectos básicamente sobre los recursos de origen natural como son los recursos hídricos, suelo y aire.

2.4.2.1. Contaminantes orgánicos.

Son contaminantes que tienen la capacidad de introducirse al ambiente e incluso disponen de tiempo necesario para descomponerse mediante procesos naturales y biológicos; tienen el potencial de degradarse y metabolizarse para el crecimiento de las plantas, son menos tóxicos porque es menos reactiva y se acumulan en pequeñas proporciones; como los hidrocarburos aromáticos, petróleo, compuestos para la producción de colorantes y explosivos, productos agroquímicos como los plaguicidas, etc. (Ernst O., 1996).

2.4.2.2. Contaminantes inorgánicos.

Generalmente son aquellos contaminantes que son absorbidos y no son biodegradables ya que no se descomponen mediante procesos naturales, especialmente el plomo y mercurio, se incluye a este grupo a los elementos de metales pesados como el

cobalto, cromo, cobre y los de tipo no metálicos como es el arsénico y bario(Singh O., 2003).

Una de las formas de tratar es evitando que sean arrojadas al ambiente o reutilizarlas. Los elementos básicos para el desarrollo y crecimiento donde se forman los principales nutrientes para las plantas son el manganeso, bario, cobre, hierro, molibdeno y zinc; para los animales es el arsénico, cobre, cobalto, hierro, manganeso, zinc, cromo, flúor, níquel, selenio y molibdeno. Una vez que se encuentren en concentraciones bajas o altas dentro del agua, aire o suelo estos contaminantes son difíciles de eliminarlos en otras ocasiones son muy costosas; la acción tóxica de los elementos para algunos organismos depende mucho de la concentración, su persistencia y su estructura físico química (Ghosh M. & Singh S., 2005).

2.4.3. Concepto de metales pesados.

Los elementos pertenecientes al grupo de metales pesados no son biodegradables pero presentan un potencial de riesgo para la salud del hombre, animales y ambiente, pertenecen a un grupo de elementos químicos que reciben esta designación debido a diversos criterios; cuentan con 118 elementos conocidos y descritos en la tabla periódica, 84 son consideradas metales, de estos últimos solamente 40 elementos son metales pesados. Uno de los criterios de clasificación es la densidad, aquellos metales de densidad mayor o igual a 4 g/cm^3 son considerados pesados, sin embargo se considera la varianza desde 4,5 hasta 5 g/cm^3 como valor mínimo. También se consideran los criterios empleados como el número y peso atómico siendo estas los parámetros considerados entre 63.55 (Cu) y 200.59 (Hg).

En general el término metales pesados son considerados peligrosos ya que tiene una connotación de tóxica porque son acumulables y principalmente no son fáciles de degradarse ni química, ni biológicamente. Es importante las concentraciones en las que se pueden presentarse los metales y la generación de su efecto tóxico al cambiar de una especie a otra pero quizá un elemento es importante en niveles bajos pero en otra ocasiones puede ser tóxicas para otros (Navarro Aviñó, Aguilar Alonso, & López Moya, 2007).

La acción tóxica de los contaminantes está determinada tanto por su accesibilidad al organismo como por sus reacciones bioquímicas y fisiológicas que provocan en última instancia la manifestación de signos y síntomas de intoxicación (Singh O., 2003).

2.4.4. Efectos tóxicos de los metales pesados.

La toxicidad de estos elementos se origina en un ambiente determinado que depende de diversos factores, ya sea referidos netamente al metal como factores que se relacionan con el medio y la influencia de este sobre los metales pesados (Ghosh M. & Singh S., 2005).

Los factores que influyen en el grado de toxicidad por los metales pesados.

Los principales son:

- El origen y naturaleza de los metales pesados.
- Su abundancia y disponibilidad en el medio.
- El tipo de especie que forman; según las condiciones a las que este expuesto el metal, forman diversas configuraciones moleculares lo cual implica distintos grados de toxicidad.
- El tiempo de permanencia en el sistema; mientras más tiempo permanezca el metal en un medio determinado indica mayor toxicidad.

Refiriéndose a la abundancia del metal en el medio y no degradándose, es un factor crucial debido a que es tóxico por sus concentraciones en la que se presenta independientemente de sus propiedades. La toxicidad de un compuesto químico tiene la capacidad de afectar dentro de la función biológica, el contaminante habitualmente esta en concentraciones mayores que tienen efecto sobre otros organismos. Los metales pesados integran a los oligoelementos o micronutrientes como fuente importante que se requieren en pequeñas proporciones para plantas, animales y organismos necesarios que faciliten con el cumplimiento de su ciclo de vida necesaria; cuando pasan su ciclo umbral estos se vuelven altamente tóxicos pudiendo ser acumulativas en organismos vivos; elemento como el cadmio, mercurio, plomo, estaño, antimonio, talio y bismuto (Ángeles G., 2005).

Los factores que evalúan la toxicidad de los metales pesados.

Según las influencias del medio son llamados factores físico químicos, tienen un efecto conjunto con los factores previamente mencionados sobre el grado de toxicidad y en este caso específicamente durante la incorporación de los metales en medios acuáticos, por ello:

- La variación del pH afecta en la movilidad los metales pesados y su estructura química, además de jugar un papel importante en la interacción con la dureza del agua y algunos compuestos de origen orgánicos.
- El Potencial redox es una reacción de transferencia de electrones en el ambiente, esto influye sobre los fenómenos de especiación metálica. Los sedimentos se someten a condiciones de reducción u oxidación determinadas, que pueden afectar el estado de los metales.
- Los Iones inorgánicos, tanto aniones como cationes, pueden tener superficies con cargas negativas que son compensadas con cationes absorbidos; los cuales a su vez pueden ser

reemplazadas por otros cationes existentes dentro del ecosistema. Los metales pueden ser extraídos mediante procesos de solución, pero solo temporalmente, de esta forma varía su bioasimilación y su toxicidad.

- La Temperatura influye sobre la solubilidad, distribución siendo estos los que dependen de su efecto tóxico, también a este factor se incluyen los minerales como la arcilla e hidróxidos de metales presentes. Esto se da debido a las cargas negativas superficiales que adsorben cationes metálicos que existen en el medio.
- El comportamiento y la acción tóxica de los metales pesados está determinada por su accesibilidad al medio en cuestión, como por la serie de reacciones bioquímicas y fisiológicas que generan manifestaciones de signos y síntomas de intoxicación.

La contaminación por metales especialmente por plomo en el medio ambiente tiene un efecto silencioso y es muy nocivo, por ello se está tomando medidas para su eliminación. Las fuentes más importantes generadoras de los metales pesados son actividades naturales (desgaste de interacción rocosa y meteorización, volcanes) y las actividades antropogénicas (empresas industriales, mineras, entre otras); constituyen una fuente relevante de la obtención de metales en el suelo, (Cunningham S., Berti W.R., & Huang, 1995).

2.4.5. Contaminación de suelos por metales pesados.

Se da por uno o más elementos presentes que se consideren residuos tóxicos, dañan de manera significativa las propiedades ya sean de origen biológica, físicas o químicas del suelo, dentro de los ecosistemas aquellos organismos que habitan; si se encuentran en concentraciones elevadas ocasionan un impacto negativo trayendo consigo efectos nocivos.

Es uno de los principales problemas ambientales asociados a fuentes antropogénicas y naturales de los procesos en generación de metales. Este problema se debe al incremento de la dispersión de contaminantes en el suelo, agua y atmosfera; de ellos el suelo al ser un medio semiestático permite la acumulación de contaminantes inorgánicos como los metales pesados que permanecen por mucho más tiempo al no poder ser degradados; este proceso se da por consecuencia del afloramiento mineral, refinerías, aguas residuales, componentes eléctricos, plaguicidas y fertilizantes (Herzing R., 2003).

El exceso de contaminantes en el ambiente provocan alteraciones en las plantas, pérdidas de nutrientes y degradación del suelo, ocasionando dificultad del crecimiento de una cubierta vegetal, disminución de las poblaciones microbianas del suelo, disminución de la producción e incluso puede ocasionar desertificación de áreas agrícolas, también las plantas pueden ser más vulnerables a ser atacadas por vectores como pulgones, insectos y algunas enfermedades (Cherian S., 2005).

2.4.6. Movilización de metales pesados en el suelo.

La contaminación del suelo está fundamentalmente relacionada por la retención de metales pesados y la movilización relativa mediante las soluciones en el suelo a través de mecanismos químicos o biológicos. La movilidad de los elementos traza en suelos es de suma importancia en cuanto a su disponibilidad con un potencial importante para lixiviarse de los perfiles del suelo al agua subterránea y difiere de si su origen es natural o antrópico; todo este proceso se da mediante la redistribución y su característica primordial de ser retenida con facilidad, reportando reacciones muy lentas dependiendo de algunos tipos de elementos del grupo metálico; también se debe considerar el tiempo y forma de introducción además de sus

propiedades fisicoquímicas del suelo (Lombi E., Dunham S., & McGrath SP., 1926).

La movilización generalmente depende de sus parámetros del suelo como pH, potencial de reducción oxidación (redox), carbonatos, minerales, capacidad de intercambio catiónico(CIC), materia orgánica, textura, acidificación, variación de la temperatura, humedad, entre otras; también dependen de su especiación química, forma de deposición y condiciones medioambientales (Macek T., et al., 2007).

Para elucidar el comportamiento de los metales pesados en los suelos y prevenir riesgos tóxicos potenciales se requiere la evaluación de la disponibilidad y movilidad de los mismos. La toxicidad de los metales depende no sólo de su concentración, sino también de su movilidad y reactividad con otros componentes del ecosistema.

En virtud de que los elementos contaminantes pueden estar presentes en el suelo de manera natural y en ocasiones las concentraciones tales que pueden representar un riesgo para la salud de la población humana o de los ecosistemas; es importante establecer criterios para determinar la contaminación antropogénicas en suelos y en su caso las concentraciones de remediación.

En la actualidad existen instrumentos de gestión ambiental que buscan regular y proteger la calidad ambiental como los estándares de calidad ambiental (ECA) y límites máximos permisibles (LMP) para suelos contaminados con parámetros establecidos y concentraciones aceptables como es el arsénico, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, selenio, talio y/o vanadio. Si se da el caso de que alguno de estos elementos se encuentra en el ambiente en concentraciones elevadas que sobrepasen límites máximos permitidos establecidos en normas actuales es necesario implementar

medidas de remediación para evitar los riesgos y efectos nocivos que podrían ocasionar en los seres humanos así como en ecosistemas (Cooney C., 1996).

2.4.7. Efecto de los metales pesados en el suelo.

La presencia de metales pesados en el suelo en algunas concentraciones alcanzan niveles que rebasan los estándares de calidad ambiental, teniendo en cuenta que estos elementos son acumulativos causan daños inmediatos como crecimiento anormal, desarrollo inadecuado de las plantas en aquellas que no cuentan con la capacidad de ser tolerantes a los metales. El disturbio funcional de algunos componentes que integran en el ambiente son alteradas por la presencia de contaminantes tóxicos; por ello es importante la limpieza de suelos contaminados que requieren fundamentalmente eliminar los contaminantes mediante un proceso natural que pueda reducir los impactos ambientales. (Cherian S., 2005).

Se debe tener en cuenta que la alteración de los componentes naturales del suelo se da por la introducción de sustancias extrañas al interior de la superficie terrestre consideradas como contaminantes; éstas causan un cambio físico, químico o biológico. Estos elementos tóxicos que conocemos como contaminantes perjudican a la salud de los seres humanos, animales, plantas, alimentos, recursos hídricos como el agua potable que al consumirlas no nos damos cuenta de todo el daño que nos estamos causando (Ángeles G., 2005).

En el suelo, los metales pesados generan una investigación importante por su afección a organismos vivos en base a su concentración y su factor acumulativo, en la superficie terrestre se encuentra como iones libres bioacumulados al ser irrigadas mediante una actividad de riego en zonas agrícolas, también se dan por descargas de actividades mineras e industriales. Su acción y efecto en los seres vivos ocurre a través de sus

concentraciones elevadas el cual bloquean la activación enzimática para la formación de las proteínas, causando daños irreversibles en los diferentes organismos vivos (Deng H., 2004).

2.4.8. Efecto de los metales pesados en los seres humanos.

El peligro que los metales pesados representan en el suelo es al ser elementos tóxicos que pueden acumularse e integrarse a la red trófica de los ciclos biológicos, químicos y geológicos (Balderas y Col., 2003), el daño ocasionado por los metales pesados en los seres vivos van desde afectación al ADN, mutaciones y efectos cancerígenos (Hooda, 2007). Por ejemplo el envenenamiento por plomo (Pb) provoca daño neurológico ocasionando pérdida de memoria, inteligencia reducida, problemas de coordinación y de aprendizaje; el arsénico ocasiona cáncer en la piel, problemas cardiovasculares, daño renal y neuropatía periférica y el cadmio está asociado a diversas enfermedades renales (Kumar P., Dushenkov V., & Raskin I., 1995).

Plomo (Pb)

El plomo (Pb) es un metal pesado que se utiliza durante muchos años por su capacidad de resistencia a la corrosión y facilidad para formar aleaciones (García F., 2000). Es un elemento con gran potencial tóxico en el ambiente el cual afecta generalmente a los seres vivo, es de fácil absorción y se distribuye en los diferentes órganos, tejidos, huesos donde son acumuladas en el pasar del tiempo (Thangavel P. & Subhuram C., 2004).

La contaminación del metal pesado es aquella que procede de dos principales fuentes: la variedad de actividades que realizan el ser humano (antropogénicas) como: las actividades industriales (fundiciones de plomo, hierro, cobre, fábricas de pintura, pólvoras, explosivos y cerámicas, entre otras.), las emisiones producidas por el parque automotor (vehículos livianos y pesados); y la segunda fuente es mediante procesos naturales (erosión rocosa, volcanes, entre otras).

El plomo en forma natural en la superficie terrestre es un metal gris azulado, empleado en la fabricación de pintura, forros para cables, cerámicas, vidrios especiales, soldadura, pigmentos y municiones, aerosoles, además es tóxico para la salud humana (Macek T., et al., 2007).

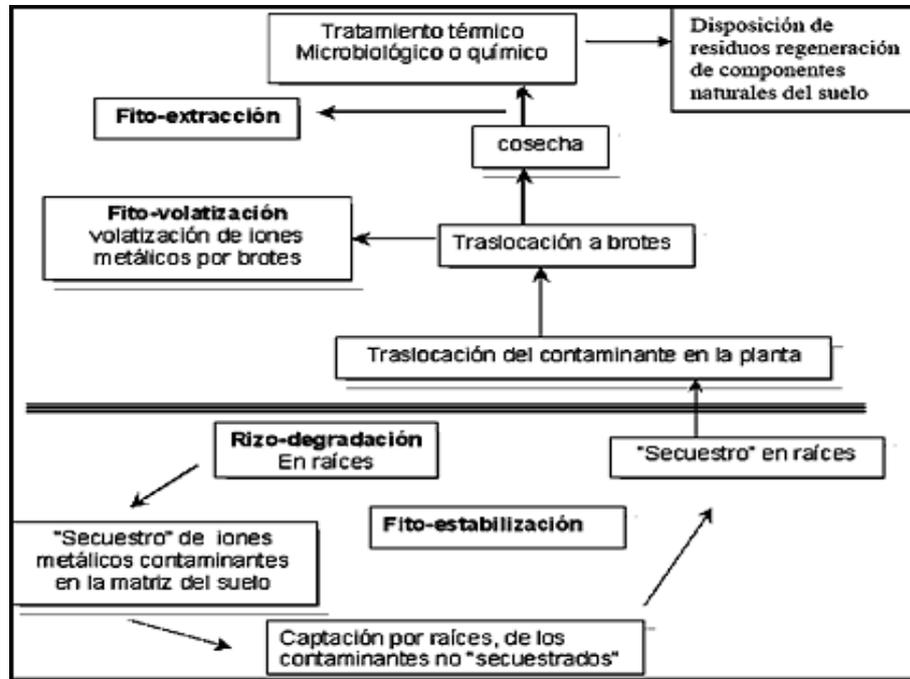
En las plantas los principales síntomas del efecto tóxico del plomo se da por la: inhibición durante el crecimiento de la radicular, crecimiento inadecuado de la planta y clorosis; en seres humanos al ser ingerido, inhalado o absorbido en niveles de 10 a 100 µg/dl., este elemento resulta tóxico trae consigo efectos adversos para el sistemas endocrino, digestivo, muscular, respiratorio, inmunológico, problemas reproductivos, neurológico, presión alta, así mismo afecta la piel y los riñones; en los niños ocasiona problemas de crecimiento atrasado, cefalea, daños auditivos y cerebral (Ghosh M. & Singh S., 2005).

2.4.9. Fitorremediación.

Es el uso de plantas para recuperar suelos contaminados, implementando tecnologías in situ no destructivas y de bajo costo, está basada en la estimulación de microorganismos degradadores. Consiste en el uso de plantas con microorganismos o enzimas asociadas y aplicación de técnicas agronómicas para degradar, retener o reducir a niveles inofensivos los contaminantes ambientales a través de procesos que logran recuperar la matriz o estabilizar al contaminante. Dentro de las técnicas de restauración de suelos afectados por contaminantes, la fitorremediación ha adquirido auge por ser un procedimiento pasivo, estéticamente agradable, útil para remover simultáneamente gran variedad de contaminantes (Mani D., 2007).

Gráfico 1:

Sistema de descontaminación de iones metálicos durante el proceso natural de la fitorremediación



Fuente: (Mani D., 2007).

La fitorremediación aplicada en suelos contaminados a partir de procesos bioquímicos mediante el crecimiento de las plántulas que están asociadas a microorganismos; mientras que algunas tecnologías implementados podrían alterar las propiedades del suelo además de su costo elevado para remediar las concentraciones elevadas de algún contaminante tóxico, la fitorremediación incluye mecanismos durante su proceso de remoción del contaminante (Mani D., 2007).

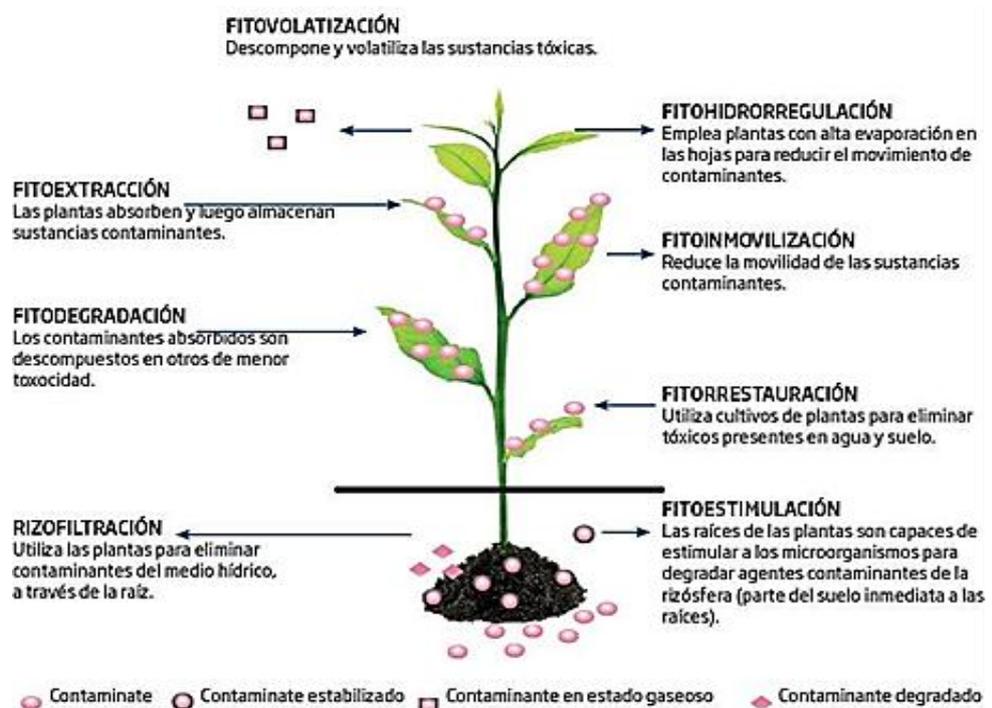
Según Kumar P., Dushenkov V., & Raskin I., 1995), mencionan que la tecnología de fitorremediación es un proceso que técnicamente puede volverse un costo viable y ambientalmente saludable; durante este proceso de investigación se obtuvo ciertas limitaciones que no fueron difíciles de solucionarlo, sin embargo se logró grandes propósitos considerando la obtención del terreno para el estudio y sembrío

de la planta considerada hiperacumuladora (*Helianthus annuus L.*), en nuestro entorno todavía pueden descubrirse e identificarse otras plantas para ser usadas en un proceso de remediación de suelos contaminados.

(Thangavel P. & Subharam C., 2004), mencionan que la tecnología depende del tipo y concentración del contaminante expuesto, las condiciones del sitio y el área requerida para la limpieza del contaminante; durante la implementación de la tecnología de fitorremediación pasa por varios métodos básicos para utilizarlo como un medio de contención especialmente a través de la fase de fitoestabilización y rizofiltración; para la eliminación se integran la fitoextracción, fitodegradación y fitovolatilización.

Gráfico 2:

Proceso de fitorremediación



Fuente: (Thangavel P. & Subharam C., 2004).

2.4.9.1. Tecnología de fitorremediación.

Se ha comprobado científicamente mediante investigaciones que los niveles de contaminación son reducidos considerablemente a través del cultivo de plantas en el suelo.

Los efectos de la fitorremediación dependen de la clase de contaminante, concentración, metodología a implementar y tipo de planta a utilizar durante el proceso de fitotecnología; esta tecnología se basa en los mecanismos fisiológicos básicos que tienen lugar en las plantas y en los microorganismos asociados a ellas, tales como: transpiración, fotosíntesis, metabolismo y nutrición. Se puede detallar en la tabla 1 los diferentes mecanismos.

Tabla 1:

Mecanismo del proceso de fitorremediación

<i>Proceso</i>	<i>Mecanismo</i>	<i>Contaminantes</i>
Fitoestabilización.	Complejación.	Orgánicos e inorgánicos.
Fitoextracción.	Hiperacumulación.	Inorgánicos.
Fitovolatilización.	Volatilización a través de las hojas.	Orgánicos e inorgánicos.
Fitoimmobilización.	Acumulación en la rizósfera.	Orgánicos e inorgánicos.
Fitodegradación.	Uso de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes.	Orgánicos e inorgánicos.
Rizofiltración.	Uso de raíces para absorber contaminantes del agua.	Orgánicos e inorgánicos.

Fuente: (Kumar P., Dushenkov V., & Raskin I., 1995).

2.4.9.2. Ventajas y desventajas de la fitorremediación.

(Singh & Jain, 2003)

Ventajas

- No requiere especialmente para su manejo un personal capacitado.
- Es de bajo costo y asequible.
- Requiere cuidado y control de crecimiento de la plántula durante los 15 a 30 días especialmente el girasol.
- Sólo requiere de prácticas agronómicas convencionales.
- Eficientes tanto para contaminantes orgánicos como inorgánicos.
- Sus efectos positivos sobre el suelo mejoran las propiedades físico químicas, gracias a la formación de la cubierta vegetal.

Desventajas.

- La fitorremediación es una tecnología con proceso relativamente lento pero eficaz en la remoción de contaminantes.
- En el caso de la fitovolatilización, los contaminantes acumulados en las estomas de las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente y generar otro tipo de impacto negativo.
- Buscar a la plántula más adecuada con capacidad de acumulación y tolerancia.
- Se sugiere hacer uso de áreas grandes para que tenga una factibilidad económica más cómoda.
- La incrementación del contaminante tóxico depende de la solubilidad.
- El uso inadecuado de la tecnología genera mayor daño en el entorno ambiental a causa de la

migración y cambio de estructura química de los contaminantes.

2.4.9.3. Fitoextracción.

Este proceso consiste en la absorción de metales contaminantes a través del sistema radicular de las plantas, su acumulación en tallos y hojas. La aplicación de esta técnica es seleccionar la especie de planta más adecuada para el tipo de metales presentes y las características del emplazamiento. Una vez completado el desarrollo vegetativo de la planta el siguiente paso es cortarlas, proceder a su incineración y traslado de las cenizas a un vertedero de seguridad (Kumar P., Dushenkov V., & Raskin I., 1995).

Se debe considerar como una tecnología de largo plazo porque requiere de varios cultivos para reducir las concentraciones elevadas de los contaminantes, durante el periodo de crecimiento se va generando la eficiencia de remoción por parte de la especie utilizada. Esta técnica hoy en día se encuentra en una etapa de investigación, está surgiendo como un método de rehabilitación simple durante su proceso de cultivo de las plántulas.

La metodología implementada es una opción de limpieza de contaminantes de las condiciones del suelo mediante la absorción radicular de la planta y acumulación en los tejidos para mejorar el proceso de fitoextracción (Mani D., 2007).

Esta técnica se puede repetir en muchas ocasiones hasta lograr las concentraciones aceptables en base a los parámetros establecidos, la planta implementada debe contar con la capacidad de fitoextracción de tal manera extrae los contaminantes mediante la absorción

por el sistema radicular y posteriormente son transportadas por sus tejidos a través del tallo hasta las hojas donde son acumuladas en las estomas (Cooney C., 1996).

Según (Mani D., 2007), menciona que las plántulas con capacidad de fitoextracción tienen ciertas características que les hace acreditadoras de un potencial de extracción de contaminantes tóxicos, estas:

- La acumulación de metales pesados y el incremento de la generación de biomasa.
- El aumento considerable en el índice de crecimiento de la plántula.
- Son fáciles de adaptarse a condiciones de factores ambientales y variaciones climatológicas, además de ser resistentes a patógenos y plagas.
- Tiene un sistema radicular ampliamente distribuido y muy ramificado.
- Cuenta con la capacidad de tolerar y acumular contaminantes tóxicos o metales con concentraciones elevadas.
- Transporte de los contaminantes desde la absorción radicular hasta los brotes y las hojas.

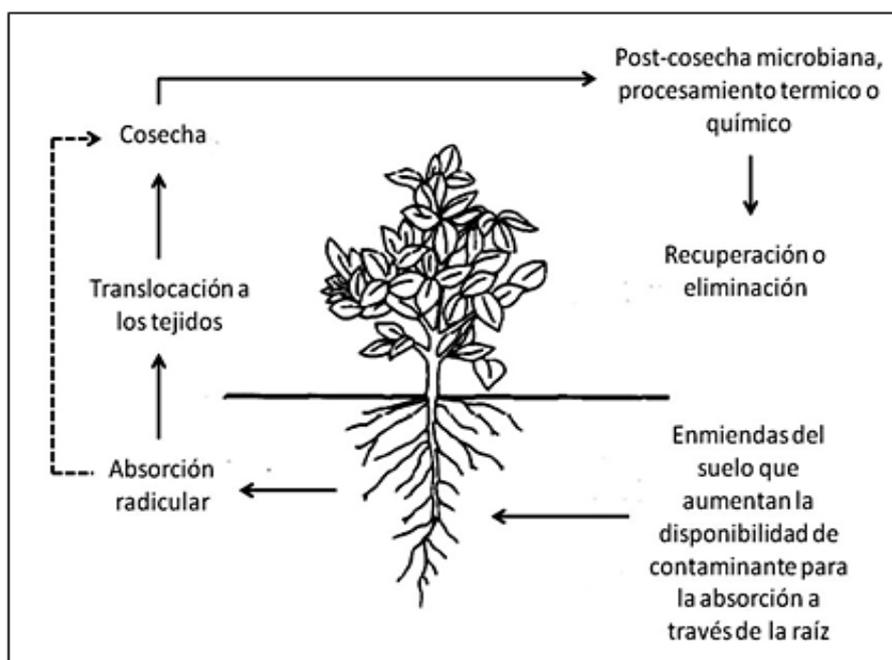
La fitoextracción es una técnica prometedora para solucionar los problemas de remoción de contaminantes por agentes tóxicos no degradables, por ello los factores importantes de una plántula que les hace considerablemente un buen fitoextractor es la generación de biomasa y la eficiencia de concentrar elementos considerados tóxicos; las plantas consideradas hiperacumuladoras son buenas candidatas para la fitorremediación, pero muchas de ellas poseen poca biomasa así es que es necesario el uso de la ingeniería genética que permite transferir y

sobre expresar los genes de bacterias que ayudan a promover la capacidad de hiperacumulación en ciertas plantas (Cherian S., 2005).

La materia prima con elementos tóxicos considerados contaminantes será procesada como un residuo peligroso ya que se da por sus elevadas concentraciones de metales pesados en medios naturales, por ello se optará por una tecnología adecuada para reducir o minimizar ciertas concentraciones que generan impactos negativos en los seres vivos, de tal forma también sea asequibles económicamente.

Gráfico 3:

Procesos implicados en la fitoextracción de suelos contaminados



Fuente: (Cunningham S., Berti W.R., & Huang, 1995).

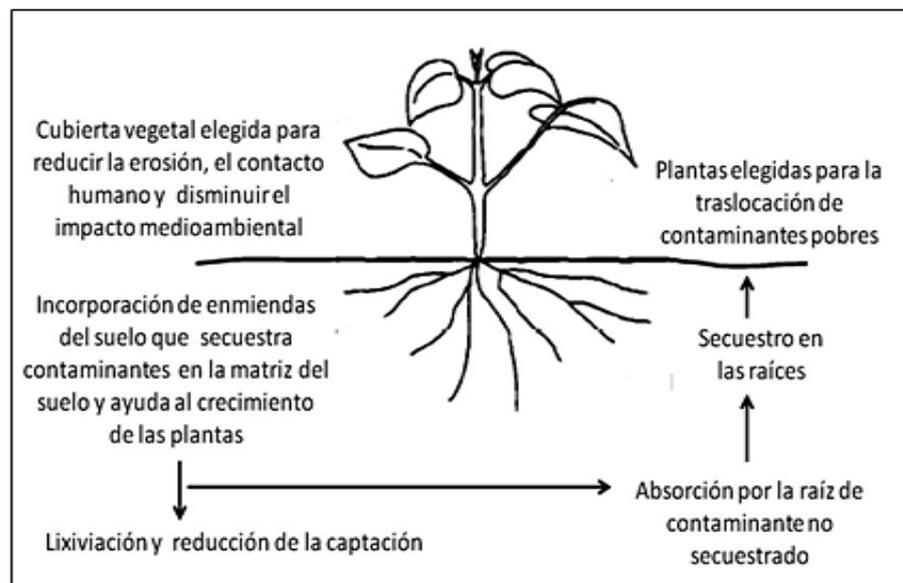
2.4.9.4. Fitoestabilización.

Este proceso se da mediante el uso de las plántulas tolerantes a estabilizar elementos contaminantes presentes en el suelo a tratar, por ello se desarrolla un sistema de crecimiento radicular el cual permite reducir la movilidad (Herzing R., 2003) y disponibilidad del contaminante evitando que sea transportado a las filtraciones subterráneas o volatilizadas a la atmósfera (Singh O., 2003).

Esta técnica ayuda a limitar los movimientos generados por los metales de tal manera se inmovilice su capacidad durante su introducción al medio ambiente. En la actualidad este proceso se usa para inactivar su disponibilidad de contaminantes o elementos tóxicos que generen efectos nocivos a los seres vivos (Cunningham S., Berti W.R., & Huang, 1995).

Gráfico 4:

Fases implicadas en el proceso de fitoestabilización de suelos contaminados



Fuente: (Cunningham S., Berti W.R., & Huang, 1995).

Según (Thangavel P. & Subharam C., 2004), reporta que los exudados radiculares de las plantas tolerantes para inmovilizar contaminantes pueden disminuir el pH de la rizósfera, esto lograra de manera directa la concentración elevada de los elementos del grupo de metales pesados a causa de la desorción durante el medio de disolución, por lo que son acumulados de forma inocua evitando los efectos tóxicos. Los microorganismo de la rizósfera hacen que aumente una buena disponibilidad durante el metabolismo de los elementos metálicos presentes en el suelo, por ello se debe tener en cuenta que los microorganismos sideróforos aumentan una buena disponibilidad de los metales pesados mejorando la absorción radicular (Mani D., 2007).

2.4.9.5. Fitovolatilización.

Este mecanismo se da mediante la absorción de los elementos metálicos presentes en el suelo durante el proceso de crecimiento de las plantas donde absorben el agua con contaminantes orgánicos solubles; durante su transporte y metabolismo el recorrido de los contaminantes llegan a las hojas y posteriormente se evaporan siendo liberadas de forma volátil hacia el medio atmosférico. Es un método utilizado para la remoción de contaminantes de origen orgánico y de algunos elementos metálicos como el mercurio y selenio, son absorbidos a través del sistema radicular en el suelo, posteriormente son transportados por los tejidos vegetales, almacenamiento en las estomas y evaporación hacia el medio atmosférico (Herzing R., 2003).

2.4.9.6. Rizofiltración.

Es un proceso que provee un microambiente complejo y dinámico donde las bacterias y hongos están asociadas a las raíces mediante la utilización de plantas para extraer contaminantes; por medio de la capacidad de absorción desde el medio hídrico a través de sus raíces y lo concentran en sus tejidos (Cherian S., 2005). En la rizofiltración estas plantas se cultivan de manera hidropónica; cuando el sistema radicular está bien desarrollado, las plantas se introducen en el agua contaminada con metales, en donde las raíces los absorben y acumulan; medida que las raíces se van saturando, las plantas son cosechadas, posteriormente se incineran y las cenizas obtenidas se dispondrán de manera adecuada como parte de su uso final (Macek T., et al, 2007).

La comunidad rizosférica está constituida por una microbiota que integran los hongos, bacterias y algas, este grupo secretan sustancias fitosideróforos, que también forman parte de la micro y meso fauna que conforman los ácaros, nematodos, protozoos, insectos este grupo constituyen el proceso de descomposición (Navarro Aviñó, Aguilar Alonso, & López Moya, 2007).

2.4.10. Plantas hiperacumuladoras de metales pesados.

Son plantas metalofitas que desarrollan mecanismos biológicos con capacidad de crecer en suelos ricos con metales pesados poseen un potencial de absorber diversos tipos de contaminantes esenciales para su desarrollo y supervivencia; las plántulas también tienen la capacidad de tolerar fisiológicamente la entrada de metales a través de las raíces y transportarlas a las estomas de las hojas, estas en concentraciones elevadas de

ciertos metales pesados(Navarro Aviñó, Aguilar Alonso, & López Moya, 2007).

Se propone que si una planta contiene más de 0.1% de níquel, cobalto, cobre, cromo, plomo y zinc hasta llegar al 2% en sus hojas sobre una base de su materia en peso seco, ésta puede ser llamada una “hiperacumuladora”, independientemente de la concentración del metal en el suelo. Las primeras plantas hiperacumuladoras caracterizadas son miembros de las familias Brassicaceae y Fabaceae.

El gran interés despertado por las plantas hiperacumuladoras, especialmente para detoxificar un ambiente contaminado, obliga también a resolver otros problemas relativos a otras disciplinas optimizando las prácticas de manejo de suelos y cosecha; en cuando se intensifique la investigación con los diversos campos como botánica, fisiología vegetal, agronomía, química y genética, probablemente se inicie un brillante futuro para la fitorremediación (Lombi E., Dunham S., & McGrath SP., 1926).

Las plantas hiperacumuladoras restringen su absorción y/o translocación hacia sus hojas desde el suelo permitiéndoles que toleren concentraciones elevadas y constantes de metales de tal manera acumulen estos elementos de manera no tóxica en su biomasa. La fitorremediación tiene la necesidad de impulsar mayores conocimientos multidisciplinarios que aumenten la rentabilidad y eficacia de dichas plantas, sus aplicaciones son interesantes en muchas áreas e importantes en la protección del ambiente (Parkpian S., Techapinyawat R., Delaune A., & Jugsujinda A.).

2.4.11. Girasol (*Helianthus annuus L.*).

2.4.11.1. Taxonomía y morfología.

El girasol es una planta anual, pertenece a la familia de Asteraceae y al género *Helianthus*, el cual comprende unas 68 especies en norte américa, pero el más importante es el *Helianthus annuus L.*

Su raíz es pivotante, formada por un eje principal y abundante, sus raíces secundarias que es un conjunto que puede llegar a alcanzar los 4 m de profundidad; su tallo es erecto, vigoroso, macizo y cilíndrico; tiene una altura que comprende entre 60 y 220 cm y el diámetro del tallo va de 32 a 6 cm dependiendo de la especie (Thangavel P. & Subhuram C., 2004).

Las hojas son alternas, grandes, trinervados, muy pecioladas y de forma variable; el número de hojas por planta varía entre 12 a 40 según las condiciones de cultivo y la variedad.

La inflorescencia o llamada cabeza está formada por dos tipos de flores que se encuentran insertadas y rodeadas por brácteas protectoras. Las primeras flores son las liguladas (flores estériles y poseen una corola semejante a un pétalo, su color puede variar de amarillo a anaranjado); y las segundas son denominadas tubulosas (poseen órganos de reproducción y están situadas en arco espirales que parten del exterior hacia el centro del disco) (Parkpian S., Techapinyawat R., Delaune A., & Jugsujinda A.).

La polinización se realiza principalmente por insectos como las abejas. La fecundación de la flor, se da cuando el ovario se transforma en fruto y el ovulo en semilla; la cascara es seco, fibroso y de color variable con la

finalidad proteger a la semilla o almendra (Kumar P., Dushenkov V., & Raskin I., 1995).

Gráfico 5:

FloreCIMIENTO del girasol



Fuente: Elaboración propia.

2.4.11.2. Necesidades de la planta.

Según (Parkpian S., Techapinyawat R., Delaune A., & Jugsujinda A.), el girasol (*Helianthus annuus L*) se adapta a condiciones térmicas muy variables con temperaturas bajas de 13° a 17°C hasta temperaturas cálidas de 25° a 30° C. Cabe recalcar que depende de la intensidad de la luz solar para desarrollarse o no.

Aunque es resistente a las sequias, es importante la condiciones de humedad disponible en el suelo especialmente en el momento de siembra y formación de la planta.

Tiene la capacidad de extraer grandes cantidades de nutrientes gracias a su desarrollo de su sistema radicular profundo. Si realiza el cultivo con fertilizantes es para su

mejor rendimiento, se recomienda aplicar entre 40 a 60 kg/ha de nitrógeno y 40 kg/ha de fósforo.

2.4.11.3. Mecanismo de funcionamiento de los metales pesados a través de la absorción, transporte y tolerancia.

Según (Singh & Jain, 2003), mencionan que el metabolismo de los metales pesados mediante su transporte desde el suelo hasta las vacuolas de las hojas, hay una serie de moléculas que se encargan de controlar y regular el funcionamiento durante el transporte por los tejidos vegetales conocidos como el xilema. Durante el proceso de almacenamiento y tolerancia de elementos metálicos integran dos principales moléculas que son MTs (metalotioninas) y PCs (fitoquelatinas), estas se encargan de secuestrar los iones metálicos formando estructuras complejas muy firmes para que sean almacenadas en las estomas de las hojas.

La molécula metalotioninas tiene la capacidad de juntar a las proteínas con los elementos metálicos para proteger a las plantas evitando de tal manera que se generen algunos efectos tóxicos a causa de los iones metálicos; y la fitoquelatinas son considerados péptidos sintetizados que a través de la enzima fitoquelatina sintetasa hacen que se une a los elementos metálicos para detoxificar el vegetal especialmente a través de la formación radicular y posteriormente en concentraciones bajas en las hojas (Parkpian S., Techapinyawat R., Delaune A. & Jugsujinda A.).

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

3.1. Metodología.

El estudio de investigación se llevó a cabo en el distrito de Sicaya en una parcela de 3200 metros cuadrados, terreno irrigado por el canal de PLAN MERIS. Posteriormente se tomarán muestras de suelos en base a protocolos y técnicas aleatorias de muestreo; luego dejar secar y enviar al laboratorio para su respectiva evaluación de su caracterización físico química del suelo, como pH, conductividad eléctrica, CaCO₃, materia orgánica, fósforo, nitrógeno.

Las semillas de *Helianthus annuus L.* a utilizar serán de la variedad jaspeado; siendo éstas las más comerciales por sus características de resistencia a las enfermedades y de mayor rendimiento. Al momento de la siembra se colocaran 6 semillas por golpe en el suelo y se extraerá la muestra a una profundidad aproximadamente de 20 cm con la ayuda de un zapapico, también se sembrara a una distancia de 60 a 70 cm en cada parcela.

Al mes de crecimiento se procederán al desahijamiento que consiste en retirar las plantas pequeñas y dejar solo tres plantas en cada golpe, que presenten buenas características fisiológicas, como buen tamaño,

tallos gruesos y bien erguidos. El cuidado que se les brindará a las plantas desde el primer brote es el riego en el primer mes, el deshierbado de malezas, el aporque hasta que alcancen una edad de dos meses; teniendo en cuenta siempre las labores culturales a realizar.

Durante el proceso de limpieza y deshierbado también se procede a abonar los diferentes lotes con los diversos tipos de abonos a utilizar de acuerdo al tipo de tratamiento: lote 1 (testigo), lote 2 (abono comercial – superfosfato triple), lote 3 (abono natural – estiércol de ovino), lote 4 (técnicas agroecológicas - incorporación de materia orgánica chala y volteo).

La siguiente toma de muestra de suelo mediante la técnica aleatoria de muestreo se realizará a la cosecha de los girasoles y posteriormente se enviara al laboratorio.

La plántula del girasol cosechada, se guardara en un ambiente ventilado, seco y bajo sombra, para realizar el deshidratado; posteriormente se realizara cortes de raíces, tallos, hojas, flores y semillas de biomasa seca; luego serán embolsadas para enviarlas a los laboratorios certificados para evaluar y analizar las concentraciones de Pb (plomo), para este procedimiento se hará uso de un equipo de ICP de absorción atómica.

Después de haber concluido con el estudio de investigación, los girasoles cosechados serán sometidos a un proceso de incineración; de tal manera se evite el quemado de la plántula y la contaminación generalizada en el ambiente (agua, aire, suelo, flora y fauna).

3.1.1. Tipo de investigación.

El tipo de investigación es aplicada, ya que el fin del estudio es determinar la remoción de plomo.

3.1.2. Nivel de investigación.

El nivel de investigación es descriptivo.

3.2. Diseño de la investigación.

El diseño de investigación será descriptivo y consistirá en la toma de muestras de suelos y planta girasol.

Tabla 2:

Diseño de la investigación.

	Área (m ²)	Tiempo (mes)	Cantidad de abono por plántula de girasol (kg)	Concentra ción de plomo inicial (ppm)	total trata mientos
Lote 1 Testigo	200	3	0	185.25	4
Lote 2 Abono comercial (superfosfato triple)	200	3	100	185.25	4
Lote 3 Abono natural (estiércol ovino)	200	3	100	185.25	4
Lote 4 Técnicas agroecológicas (incorporación de materia orgánica chala y volteo)	200	3	100	185.25	4
Total unidades experimentales	200	3	100	185.25	4

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1. Universo.

Se tiene como universo todos los terrenos de cultivo de la margen derecha del Río Mantaro irrigados por el canal de PLAN MERIS.

3.2.2. Población.

La población en estudio son todos los terrenos de cultivo del distrito de Sicaya irrigados por el canal de PLAN MERIS.

3.2.3. Muestra.

La parcela de cultivo de 3200 metros cuadrados irrigada por el canal de PLAN MERIS.

3.3. Variables

3.3.1. Variable independiente.

- Suelos contaminados con plomo en el distrito de Sicaya.

3.3.2. Variable dependiente.

- Concentración de plomo en *Helianthus annuus L.*
- Remoción de plomo en terrenos de cultivo.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de información.

3.4.1. Técnicas de la investigación.

Las técnicas de investigación estarán basadas en los protocolos a seguir en base a los diversos análisis de laboratorio, como es la determinación de plomo mediante el método de espectroscopia de absorción atómica.

3.4.2. Instrumentos.

Materiales:

- Muestreador de suelos.
- Picos.
- Zapapicos.
- Bolsas de polietileno
- Plumones tinta indeleble.
- Cernidores de malla N° 2 mm.
- Balde.
- Guantes.

Equipos e instrumentos:

- 01 Espectrofotómetro de absorción atómica.
- 01 pH-metro.

- 01 Conductímetro.
- 01 Multiparámetro.

3.5. Procesamiento de la información.

3.5.1. Medidas (tendencia central y/o dispersión).

Los datos obtenidos durante el estudio de investigación serán analizados mediante cuadros comparativos y análisis de varianza, determinando su normalidad, media y otros estadísticos.

3.5.2. Representaciones.

Mediante gráficos y tablas como resultado de los análisis estadísticos realizados.

3.5.3. Comprobación de la hipótesis.

En base a los resultados de ANOVA.

CAPÍTULO IV

ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Resultados.

Los resultados obtenidos del estudio se detallarán a continuación mediante tablas y gráficos representativos; los datos obtenidos en la investigación sobre la remoción de contaminantes tóxicos para la remediación de suelos con presencia de plomo (II) implementando la técnica de fitorremediación y el uso de diferentes tipos de abono nos ayudaran a concluir en menos tiempo la eficacia de remoción de plomo de acuerdo al tratamiento empleado en los suelos contaminados en el distrito de Sicaya.

Antes del estudio.

Tabla 3:

Datos iniciales del terreno en estudio

<i>Parámetros</i>	PUNTOS DE MUESTREO			
	<i>Lote 1 Testigo</i>	<i>Lote 2 Abono Comercial</i>	<i>Lote 3 Abono Natural</i>	<i>Lote 4 Técnicas Agroeco lógicas</i>
CONCENTRACION DE PLOMO (SUELO) - LOTE UNICO 3200 m²				
ppm	185.25	185.25	185.25	185.25
	185.25	185.25	185.25	185.25
	185.25	185.25	185.25	185.25
	185.25	185.25	185.25	185.25
CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS (SUELO)				
pH	7.87	7.87	7.87	7.87
Conductividad eléctrica	0.99	0.99	0.99	0.99
CaCO ₃	12.9	12.9	12.9	12.9
Materia orgánica	1.65	1.65	1.65	1.65
Fósforo	21.7	21.7	21.7	21.7
Potasio	129	129	129	129
Clase textural	Fr.Arenoso	Fr.Arenoso	Fr.Arenoso	Fr.Arenoso
CIC	12.32	12.32	12.32	12.32
CONCENTRACION DE PLOMO (PLANTA)				
ppm	0	0	0	0
	0	0	0	0
	0	0	0	0
	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia, en base a los resultados del laboratorio obtenidos por la Universidad Nacional Agraria la Molina.

Los resultados de la tabla anterior identifican las parcelas sembradas del modo siguiente: 3 tratamientos con un testigo, con cuatro repeticiones por cada tratamiento y con un metraje de 200 metros cuadrados por repetición; los resultados mostrados fueron analizados siguiendo los protocolos y técnicas aleatorias de muestreos analizados en laboratorios autorizados. El resultado final correspondiente al suelo en el distrito de Sicaya es de 185.25 ppm, lo que excede en un 264% al ECA actual para suelos agrícolas.

4.2. Porcentajes de remoción de plomo en el suelo.

Tabla 4:

Porcentajes de remoción de plomo en el suelo

<i>Parámetros</i>	PUNTOS DE MUESTREO			
	<i>Lote 1</i> <i>Testigo</i>	<i>Lote 2</i> <i>Abono</i> <i>Comercial</i> <i>(superfosfato</i> <i>triple)</i>	<i>Lote 3</i> <i>Abono</i> <i>Natural</i> <i>(estiércol</i> <i>ovino -</i> <i>100kg)</i>	<i>Lote 4</i> <i>Técnicas</i> <i>Agroecológicas</i> <i>(incorporación de</i> <i>materia orgánica</i> <i>chala y volteo)</i>
	29.81	69.24	53.46	48.59
	21.55	79.38	66.60	57.32
ppm	37.41	68.52	65.75	57.38
	33.47	70.16	64.91	55.09
Promedio	30.56	71.82	62.68	54.60

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4 se puede apreciar que el proceso de tratamiento con abono comercial superfosfato triple genera un porcentaje de remoción más elevado que los demás tratamientos (71.82%), esto se puede deber al desarrollo radicular de las plántulas de girasol, cuyo sistema tiende a absorber y capturar los iones de plomo (McGrath, 2001). Sin embargo los otros tratamientos tienen trascendencia estadística ya que tienen elevada tendencia de remoción y no son despreciables desde el punto de vista

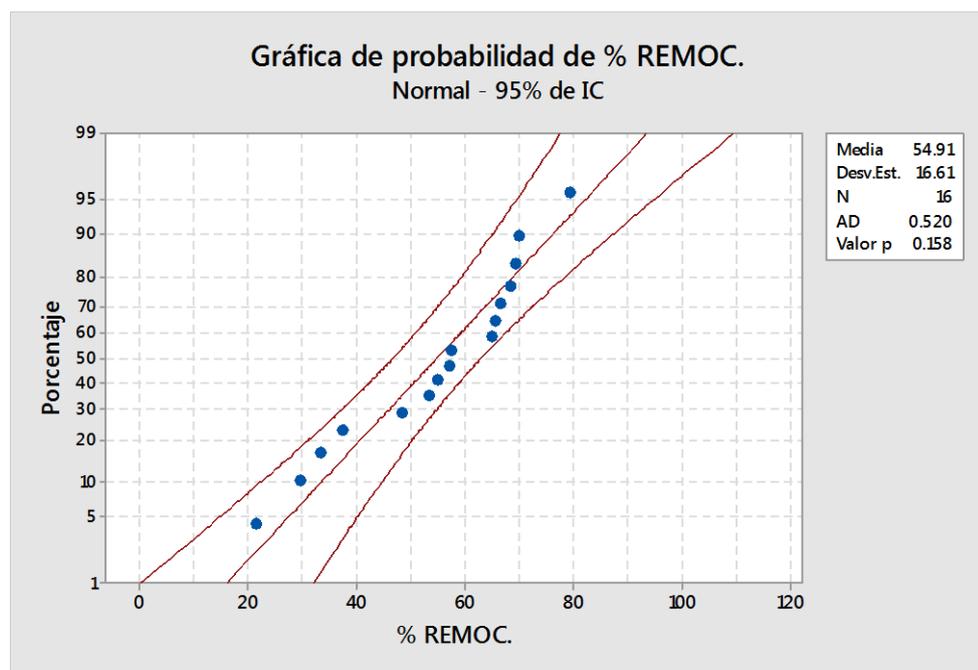
experimental con 62.68 % para estiércol de ovino y 54.60% con abono de chala, respectivamente.

4.3. Prueba de normalidad para el porcentaje de remoción de plomo después de los tratamientos empleados.

Para probar si los datos del porcentaje de remoción de plomo (II) después de los tratamientos empleados son normales, se hizo un análisis de normalidad a un nivel de $p > 0.05$ cuyo resultado se refleja en el gráfico 6. Los datos en análisis presentan un valor de $p = 0.158$, valor mucho mayor a la probabilidad normal, lo que indica que el modelo y sus respectivas hipótesis del ANOVA son estadísticamente probables.

Gráfico 6:

Gráfica de la normalidad del porcentaje de remoción



Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DE VARIANZA

Para probar el ANOVA, es necesario plantear las hipótesis:

- **Ho:** No hay diferencia significativa entre los promedios del porcentaje de remoción del plomo (II) referentes a los diferentes tratamientos empleados.

- **Ha:** Si hay diferencia significativa entre los promedios del porcentaje de remoción del plomo (II) referentes a los diferentes tratamientos empleados.

Tabla 5:

Análisis de varianza con la prueba de Fisher

RESUMEN					
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>	
Lote 1 Testigo	4	122.240216	30.560054	45.675610	
Lote 2 Abono comercial (superfosfato triple)	4	287.292848	71.823212	25.825929	
Lote 3 Abono natural (estiércol ovino -100kg)	4	250.709852	62.677463	38.257088	
Lote 4 Técnicas agroecológicas (incorporación de materia orgánica chala y volteo)	4	218.380567	54.595142	17.176150	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6:

Análisis de varianza

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Tipos de lote con abono	3757.6366	3	1252.5456	39.4705	1.70 x 10 ⁻⁶	3.4903
Dentro de los grupos	380.80433	12	31.733694			
Total	4138.4410	15				

Fuente: Elaboración propia.

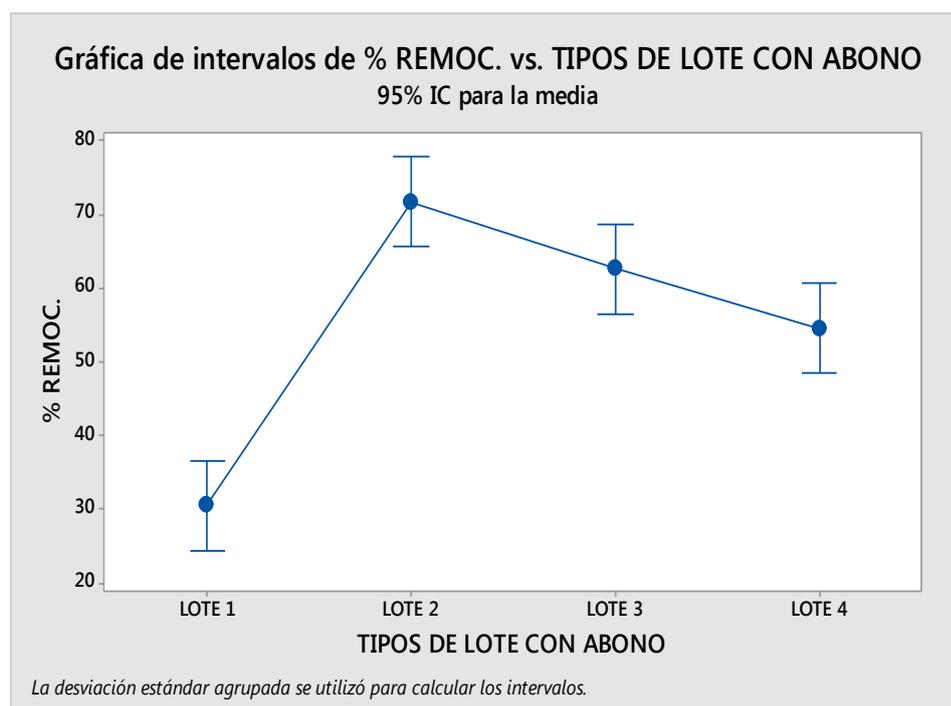
En la tabla 5 y 6 ANOVA se concluye que los tipos de abono afectan significativamente al porcentaje de remoción de plomo en los suelos agrícolas del distrito de Sicaya, esto se respalda por el valor de p (1.70×10^{-6}) que es mucho menor que 0.05, lo que hace que se rechace la hipótesis nula y se acepte la alterna.

Comparación de factores.

En el gráfico siguiente se aprecia claramente el despunte en favor de la remoción de plomo del tratamiento N°2 (superfosfato triple) en comparación al testigo, a los abonos y técnicas agroecológicas empleadas.

Gráfico 7:

Porcentaje de remoción comparado con los tipos de lote con diferentes abonos



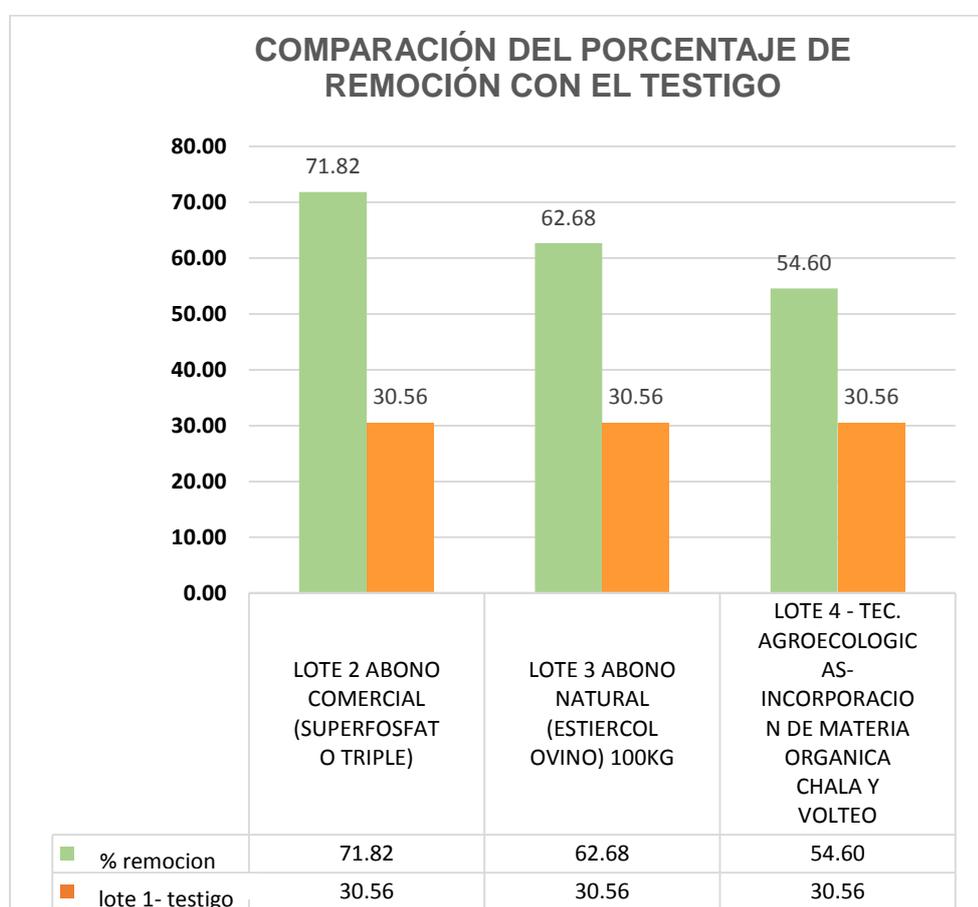
Fuente: Elaboración propia, de acuerdo a la desviación estándar para calcular los intervalos.

4.4. Comparativo medio de los tratamientos con el testigo.

El presente gráfico muestra cómo los tratamientos y las técnicas agroecológicas afectan positivamente en la remoción de plomo en el suelo agrícola empleado; en todos ellos se puede observar la gran diferencia de remoción con respecto al testigo, concluyendo que la agroecología y toda su gama de técnicas favorecen significativamente en la disminución de plomo del medio y la recuperación correspondiente de suelos (Cunningham S., Berti W.R., & Huang, 1995).

Gráfico 8:

Comparación del porcentaje de remoción con el testigo



Fuente: Elaboración propia.

4.5. Niveles comparativos de plomo después de los tratamientos.

De la Tabla 7 se concluye que todos los tratamientos tienen efectos eficaces de remoción, alcanzando un nivel de remoción elevado el tratamiento con abono comercial que logra reducir las concentraciones de plomo (II) por debajo del nivel del ECA para suelos agrícolas (52.19 ppm); el segundo mejor resultado es para el abono natural con estiércol de ovino que logra bajar relativamente las concentraciones de plomo (II) respecto al ECA (69.14 ppm).

Tabla 7:

Análisis de la concentración de plomo en el suelo después del tratamiento, comparados con el ECA

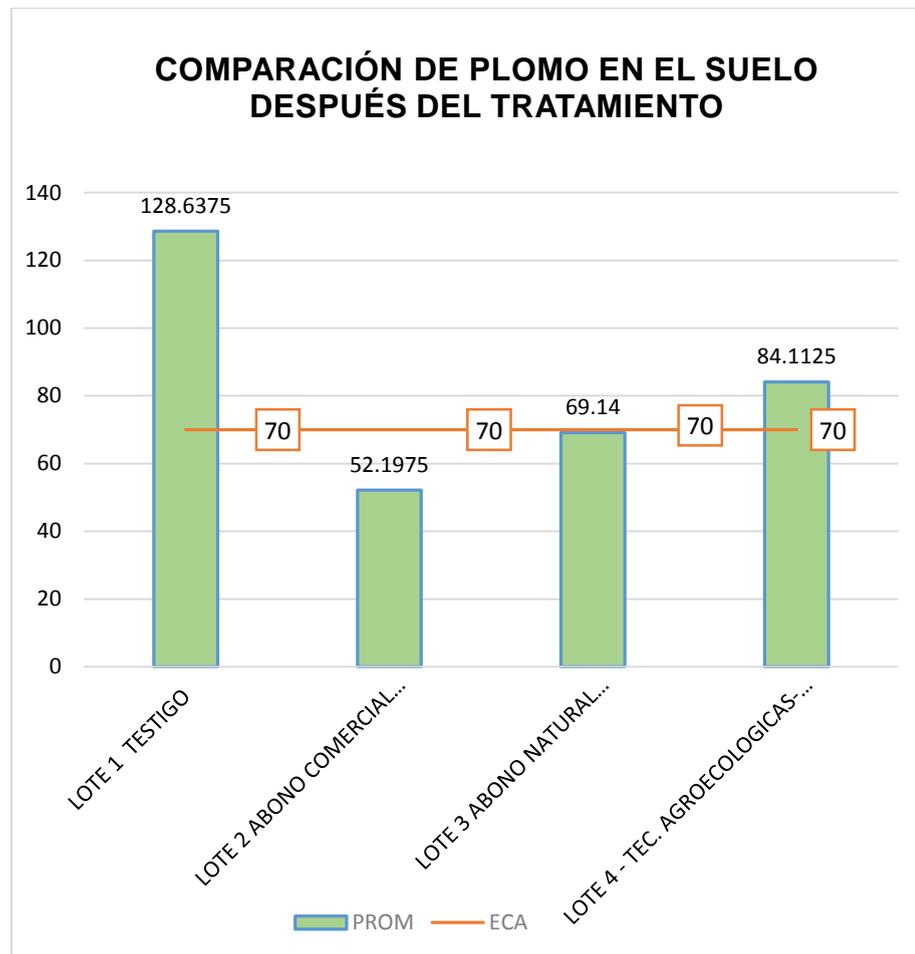
Parámetros	PUNTOS DE MUESTREO			
	Lote 1 Testigo	Lote 2 Abono Comercial (superfosfato triple)	Lote 3 Abono Natural (estiércol ovino - 100kg)	Lote 4 Técnicas Agroecológicas (incorporación de materia orgánica chala y volteo)
	130.03	56.99	86.22	95.24
ppm	145.32	38.2	61.88	79.06
	115.95	58.32	63.45	78.95
	123.25	55.28	65.01	83.2
Promedio	128.6375	52.1975	69.14	84.1125
ECA	70	70	70	70

Fuente: Elaboración propia

Entonces se puede concluir que el girasol (*Helianthus annuus L.*), es un buen fitorremediador de plomo (II) cuando se usan enmiendas agroecológicas para el mejor crecimiento y desarrollo de la planta.

Gráfico 9:

Comparación de plomo en el suelo, después del tratamiento comparado con el ECA



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8:

Caracterización físico química del suelo después de los tratamientos

Parámetros	PUNTOS DE MUESTREO			
	Lote 1 Testigo	Lote 2 Abono Comercial (superfosfato triple)	Lote 3 Abono Natural (estiércol ovino - 100kg)	Lote 4 Técnicas Agroecológicas (incorporación de materia orgánica chala y volteo)
pH	7.84	7.59	7.74	7.82
Conductividad eléctrica	0.80	0.23	0.64	0.63
CaCO ₃	2.16	7.20	14.3	12.4
Materia orgánica	1.55	1.80	4.83	1.65
Fósforo	6.93	7.00	9.00	38.6
Potasio	122	99	191	108
Clase textural	Fr.Arenoso	Fr.Arenoso	Franco	Fr.Arenoso
CIC	23.3	12.8	24	11.52

Fuente: Elaboración propia, en base a los análisis de los laboratorios proporcionados por la Universidad Nacional Agraria la Molina.

De la Tabla 8, podemos apreciar que las características físico químicas del suelo mejoran con la aplicación de los tratamientos de los diversos abonos con respecto a su punto inicial (testigo). Con respecto al pH, podemos ver que la aplicación de superfosfato triple y de abono natural corrigen el pH llevándolo a un punto casi neutro (7,59 y 7,74 respectivamente) lo que no sucede con la aplicación de técnicas agroecológicas, esto puede deberse a que al incorporar la chala al suelo, ésta sufre descomposición lenta y fermentación, lo que ocasiona que el pH se acidifique lentamente. La conductividad eléctrica va conjuntamente con la variación de pH y la capacidad de intercambio catiónico (CIC), generándose una relación directamente proporcional con la aplicación de los diversos abonos, donde los mejores resultados se aprecian con la aplicación del abono comercial y mejor aún con la aplicación de abono natural. El CaCO₃ y la materia orgánica incrementan con la aplicación de

abono natural (estiércol de ovino) debido a la incorporación directa de materia orgánica al suelo, generando ello que la producción del micro fauna del suelo incremente, mejorando las condiciones del suelo. La clase textural del suelo se mantiene en franco arenosa en todos los tratamientos, variando solo en la aplicación de abono natural que va convirtiendo la textura del suelo a un suelo franco.

4.6. Análisis de plomo en la planta.

Tabla 9:

Datos finales después del estudio

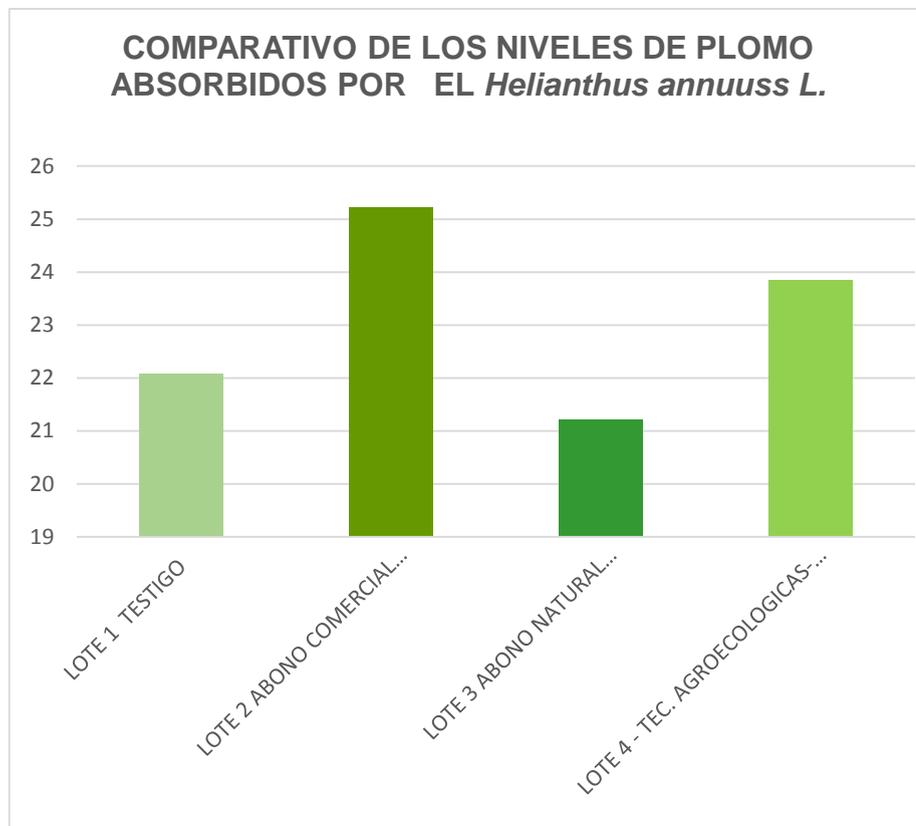
<i>Parámetros</i>	PUNTOS DE MUESTREO			
	<i>Lote 1 Testigo</i>	<i>Lote 2 Abono Comercial (superfosfato triple)</i>	<i>Lote 3 Abono Natural (estiércol ovino - 100kg)</i>	<i>Lote 4 Técnicas Agroecológicas (incorporación de materia orgánica chala y volteo)</i>
	22.604	24.819	21.345	23.752
	21.453	25.301	21.201	24.101
ppm	22.302	24.658	20.95	23.823
	21.93	26.102	21.312	23.708
Promedio	22.07225	25.22	21.202	23.846

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 9 respalda el nivel de eficiencia de remoción durante los tratamientos, ya que la planta girasol absorberá más plomo en el tratamiento que reduzca los niveles correspondientes del metal. Esto se observa en el gráfico 10 donde las plántulas de girasol con abono comercial concentraron mayor cantidad de plomo en su interior (25.22 ppm) en contra posición al porcentaje de plomo removido (71.82 %) de acuerdo al tratamiento empleado.

Gráfico 10:

Comparativo de los niveles de plomo absorbidos por la planta



Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

- En cuanto a la capacidad fitorremediadora, se concluye que el tratamiento en el lote N°2 tiene mayor eficiencia en la remoción del exceso plomo (II) en suelos contaminados, utilizando girasol con abono de tipo comercial (superfosfato triple) en suelos agrícolas del distrito de Sicaya.
- Las características fisicoquímicas del suelo agrícola a escala piloto varían favorable y significativamente en comparación al tiempo de inicio, al finalizar la investigación como lo confirman las tablas N° 5 y N° 6 se aprecia que todos los tratamientos mejoran la capacidad fitorremediadora del girasol (*Helianthus annuus L.*), despuntándose en eficacia el tratamiento N°2 con la aplicación de superfosfato triple.
- La concentración inicial de plomo en los suelos agrícolas evaluados del distrito de Sicaya fue de 185.25 ppm, el mismo que después de aplicado los tratamientos en los diversos lotes se redujeron significativamente: lote testigo 128.63 ppm; abono comercial 52.19 ppm; abono natural estiércol de ovino 69.14 ppm; técnicas agroecológicas 84.11 ppm. Lo que demuestra fehacientemente la capacidad fitorremediadora del girasol (*Helianthus annuus L.*), obteniéndose mejores resultados de absorción de plomo (II) con la aplicación de abono comercial al ser comparado con los Estándares de Calidad Ambiental(ECA) para suelos agrícolas.
- La concentración de plomo (II) removida a escala piloto por el girasol (*Helianthus annuus L.*) en las tres aplicaciones del tratamiento en el suelo agrícola contaminado del distrito de Sicaya, utilizando los diversos tipos de abono se tienen el siguiente orden: Abono comercial (25.22 ppm), técnicas agroecológicas (23.84 ppm), testigo (22.07 ppm) y el abono natural (21.20 ppm). Las plántulas de girasol cosechadas fueron sometidas a un proceso tecnológico de incineración, para evitar otros efectos ambientales como la contaminación atmosférica.

RECOMENDACIONES

- Para asegurar el éxito de la técnica de fitorremediación implementada para la limpieza de metales pesados como el plomo (Pb) en suelos agrícolas, es importante validar los datos obtenidos durante los estudios en campo en comparación con los datos generados por los laboratorios.
- Antes de iniciar con el proceso de remediación de suelo contaminado es importante conocer las características físico químicas y concentración de contaminantes tóxicos para comenzar con la implementación de la tecnología de fitorremediación del suelo a utilizar.
- Se recomienda la recuperación de suelos agrícolas en el distrito de Sicaya con el girasol (*Helianthus annuus L.*) por su alta capacidad fitorremediadora, incorporando en sus labores culturales la aplicación de abono comercial (superfosfato triple) para incrementar su capacidad de absorción, y realizar esta siembra reiteradamente para obtener la recuperación total del suelo contaminado, se recomendando también la continua utilización del abono natural (estiércol de ovino) para que exista una sostenibilidad de la recuperación ya que es recomendable ambientalmente.
- Se recomienda la aplicación de ésta investigación a gran escala y el uso de la tecnología de incineración para las plántulas de girasol con contenidos de plomo ya que los equipos utilizados en este proceso garantizarían las emisiones acorde a las normas establecidas, evitando traer consigo otros efectos ambientales.

BIBLIOGRAFÍA

- Ángeles G. (2005). Recuperación de Suelos Contaminados con Metales Pesados Utilizando Plantas y Microorganismos Rizosféricos Terra Latinoamericana. LATINOAMERICA: VOLUMEN 23 NÚMERO 1.
- Angelova V. (2004). Effect of Chemical Forms of Lead, Cadmium, and Zinc in Polluted Soils on Their Uptake by Tobacco. Journal of Plant Nutrition.
- Cherian S. (2005). Transgenic plants in phytoremediation: recent advances and new possibilities. Environmental Science & Technology., 9377-9390.
- Cunningham S., Berti W.R., & Huang, J. (1995). Phytoremediation of contaminated soils and sediments. Science and Applications.
- Deng H. (2004). Accumulation of lead, zinc, copper and cadmium by 12 wetland plant species thriving in metal-contaminated sites in China. Environmental Pollution.
- Ernst O. (1996). Potential for phytoextraction of zinc and cadmium from soils using hyperaccumulator plants. Advances in Environmental Research.
- Ghosh M., & Singh S. (2005). A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its by-products. Applied Ecology and Environmental Research, 1-18.
- Kumar P., Dushenkov V., & Raskin I. (1995). The use of plants to remove heavy metals from soils. Environmental Science & Technology, 1239-1245.
- Lombi E., L., Dunham S., & McGrath SP. (1926). Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soils: Natural Hyperaccumulation Versus Chemically- Enhanced Phytoextraction. Journal of Environmental Quality.

- Macek T., Kotrba P., Svatos A., Novakova M., Demnerova K., & Mackova, M. (2007). Novel roles for genetically modified plants in environmental protection. *Trends in Biotechnology*, 146-152.
- Mani D. (2007). Phytoaccumulation, interaction, toxicity and remediation of cadmium from *Helianthus annuus* L. (sunflower). *Bull Environ Contam Toxicol*. Mexico: C.V.México DF. Segun Edición.
- Navarro Aviñó, J. P., Aguilar Alonso, I., & López Moya, J. R. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*, 10-25.
- Parkpian S., Techapinyawat R., Delaune A., & Jugsujinda A. (s.f.). Phytoaccumulation of Lead by Sunflower (*Helianthus annuus* L.).
- Singh O. (2003). Phytoremediation: An Overview of Metallic Ion Decontamination from Soil. *Applied Microbiology and Biotechnology*.
- Singh, O., & Jain, R. (2003). Phytoremediation of toxic aromatic pollutants from soil. *Applied and Microbiology Biotechnology*, 128-135.
- Soraya P., S. (2006). Heavy Metals Pollution in Soils Damaged by Mining Industry. . *Avances in Environmental Research*.
- Thangavel P., & Subharam C. (2004). Phytoextraction Role of hyper accumulators in metal contaminated soils. *Proceedings of the Indian National Science Academy Part B*. 70, 109-130.

ANEXOS

Anexo1:

Canal de riego PLAN MERYYS, Orcotuna-Sicaya- Pilcomayo



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2:

Identificación de área (3200m²)



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3:

Sembrío de las semillas de Girasol (*Helianthus annuus* L.)



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4:

Plántulas a 12 días de sembrío (cuidado)



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5:

Plántulas a un mes de sembrío (cuidado, desahijamiento y Abonado)



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 6:

Cosecha de las plántula Helianthus annuus L.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 7:

Estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo – 2017

ANEXO				
ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA SUELO				
Parámetros en mg/kg PS ⁽²⁾	Usos del Suelo ⁽¹⁾			Métodos de ensayo ^{(7) y (8)}
	Suelo Agrícola ⁽³⁾	Suelo Residencial/ Parques ⁽⁴⁾	Suelo Comercial ⁽⁵⁾ / Industrial/ Extractivo ⁽⁶⁾	
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos aromáticos volátiles				
Benceno	0,03	0,03	0,03	EPA 8260 ⁽⁹⁾ EPA 8021
Tolueno	0,37	0,37	0,37	EPA 8260 EPA 8021
Etilbenceno	0,082	0,082	0,082	EPA 8260 EPA 8021
Xilenos ⁽¹⁰⁾	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021
Hidrocarburos poliaromáticos				
Naftaleno	0,1	0,6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzo(a) pireno	0,1	0,7	0,7	EPA 8270
Hidrocarburos de Petróleo				
Fracción de hidrocarburos F1 ⁽¹¹⁾ (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F2 ⁽¹²⁾ (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F3 ⁽¹³⁾ (>C28-C40)	3000	3000	6000	EPA 8015
Compuestos Organoclorados				
Bifenilos policlorados - PCB ⁽¹⁴⁾	0,5	1,3	33	EPA 8082 EPA 8270
Tetracloroetileno	0,1	0,2	0,5	EPA 8260
Tricloroetileno	0,01	0,01	0,01	EPA 8260
INORGANICOS				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total ⁽¹⁵⁾	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192 ⁽¹⁶⁾
Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0,9	0,9	8	EPA 9013 SEMWW-AWWA-WEF 4500 CN F o ASTM D7237 y/ó ISO 17690:2015

Fuente: MINAM (Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM).

