

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS:

**LA FITORREMEDIACIÓN COMO ALTERNATIVA EN LA RECUPERACIÓN
DE SUELOS AFECTADOS CON DESMONTES DE CONSTRUCCIÓN –
CAJABAMBA**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

Presentada por:

Bachiller: YOEL OSWALDO GAMA RETAMOZO

Asesor:

M.Sc. WILFREDO POMA ROJAS

Cajamarca – Perú

2019

COPYRIGHT © 2019
YOEL OSWALDO GAMA RETAMOZO
Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS APROBADA:

**LA FITORREMEDIACIÓN COMO ALTERNATIVA EN LA RECUPERACIÓN
DE SUELOS AFECTADOS CON DESMONTES DE CONSTRUCCIÓN –
CAJABAMBA**

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

Presentada por:

Bachiller: YOEL OSWALDO GAMA RETAMOZO

JURADO EVALUADOR

M.Sc. Wilfredo Poma Rojas
Asesor

Dr. Valentin Víctor Paredes Oliva
Jurado Evaluador

Dr. Marcial Hidelso Mendo Velásquez
Jurado Evaluador

Dra. Consuelo Belania Plasencia Alvarado
Jurado Evaluador

Cajamarca – Perú

2019



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD
Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las **19:00** horas, del día 15 de julio de dos mil diecinueve, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. VALENTIN VICTOR PAREDES OLIVA**, **Dr. MARCIAL HIDELSO MENDO VELÁSQUEZ**, **Dra. CONSUELO BELANIA PLASENCIA ALVARADO**, y en calidad de Asesor el **M.Sc. WILFREDO POMA ROJAS** Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada **LA FITORREMEDIACIÓN COMO ALTERNATIVA EN LA RECUPERACIÓN DE SUELOS AFECTADOS CON DESMONTES DE CONSTRUCCIÓN - CAJABAMBA**, presentada por el **Bach. en Economía YOEL OSWALDO GAMA RETAMOZO**

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó **Aprobar** con la calificación de **Diecisiete (17) Excelente** la mencionada Tesis; en tal virtud, el **Bach. en Economía YOEL OSWALDO GAMA RETAMOZO**, está apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, con Mención en **GESTIÓN AMBIENTAL**

Siendo las **20:10** horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

M.Sc. Wilfredo Poma Rojas
Asesor

Dr. Valentin Victor Paredes Oliva
Jurado Evaluador

Dr. Marcial Hidelso Mendo Velásquez
Jurado Evaluador

Dra. Consuelo Belania Plasencia Alvarado
Jurado Evaluador

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Con infinita gratitud y amor a mi amada esposa, Cecilia gracias por estar siempre en esos momentos difíciles brindándome su amor, paciencia y comprensión.

A mí amado hijo Tadeo, por ser mi fuente de motivación e inspiración cada día y así poder luchar para que la vida nos depare un mejor futuro.

A todos mis compañeros y amigos que creyeron en mí, quienes sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos.

A mi asesor que con su amplio conocimiento supo guiarme para el logro de este objetivo.

AGRADECIMIENTO

Al MSc. Wilfredo Poma Rojas; docente principal de la Escuela de Agronomía, por compartir sus conocimientos y experiencias en el área de investigación.

Al Dr. Valentín Paredes Oliva, director de la Escuela de Pos Grado, por su soporte y guía durante la elaboración del presente trabajo de investigación.

A mi gran amigo Wilfredo Garzón por motivar mi crecimiento profesional y sobre todo mi desarrollo en calidad humana, por sus consejos y soporte.

A cada uno de los catedráticos de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, quienes contribuyeron en mi formación académica y profesional.

ÍNDICE

Contenido	Página
ÍNDICE	vii
LISTA DE TABLAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
AGRADECIMIENTO	vi
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general	3
Objetivos específicos.....	3
CAPÍTULO II	4
MARCO TEÓRICO	4
2.1. Antecedentes	4
2.2. Bases teóricas	10
2.2.1. El suelo	10
2.2.2. La contaminación del Suelo.....	11
2.2.3. Metales pesados en el Ambiente.....	13
2.2.4. Plomo (Pb).....	17
2.2.5. Cromo (Cr).....	19
2.2.6. Cadmio (Cd).....	20
2.2.7. Técnicas de Remediación de suelos	21
2.2.8. Especies Fitorremediadoras.	29

CAPÍTULO III.....	33
MATERIALES Y MÉTODOS	33
3.1. Descripción del Ámbito de Estudio.	33
3.2. Equipos y materiales experimentales.	36
3.3. Descripción del trabajo de investigación.....	37
CAPÍTULO IV	46
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.1. Análisis de caracterización de suelos.....	46
4.2. Metales pesados en el suelo.....	50
4.2.1. Análisis de los metales pesados.....	51
4.3. Contrastación de hipótesis.....	61
4.3.1. Análisis estadístico de los resultados.	61
4.3.2. Análisis de fitorremediación por cultivo	67
CAPÍTULO V	71
CONCLUSIONES.....	71
CAPÍTULO VI.....	73
LISTA DE REFERENCIAS	73
APÉNDICES / ANEXOS	82

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Fuentes, técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	43
Tabla 2. Parámetros del uso de suelo	44
Tabla 3. Interpretación de equivalentes de C.E (sales según respuesta de los cultivos dS/m).....	44
Tabla 4. Interpretación de equivalentes alcalinos	44
Tabla 5. Interpretación de equivalentes-reacción del suelo.....	45
Tabla 6. Interpretación de equivalentes de CIC Efectiva	45
Tabla 7. Resultados iniciales de caracterización de suelos.....	46
Tabla 8. Resultados finales de caracterización del suelo.....	47
Tabla 9. Resultados iniciales de la evaluación de metales pesados	51
Tabla 10. Resultados finales de los metales pesados encontrados en la parcela de maíz	53
Tabla 11. Resultados finales de los metales pesados encontrados en la parcela de taya	55
Tabla 12. Resultados finales de los metales pesados encontrados en la parcela de trébol rojo en asociación con rye grass	57
Tabla 13. Procedimiento T-TEST para analizar el elemento de plomo	62
Tabla 14. T-Test para el elemento plomo.....	62
Tabla 15. Análisis de varianzas para el elemento plomo	63
Tabla 16. Procedimiento T-TEST para analizar el elemento de cadmio.....	63
Tabla 17. T-Test para el elemento cadmio	64
Tabla 18. Análisis de varianzas para el elemento cadmio	64
Tabla 19. Procedimiento T-TEST para analizar el elemento de cromo	65

Tabla 20. T-Test para el elemento cromo	66
Tabla 21. Análisis de varianzas para el elemento cromo	66
Tabla 22. Estándares de calidad ambiental para suelo	98

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Extracción de Nutrientes a nivel radicular.....	26
Figura 2. Ubicación del Proyecto.....	34
Figura 3. Diseño parcelas de evaluación	40
Figura 4. Variación de CIC total en el área de estudio.....	48
Figura 5. Variación del pH en el área de estudio	49
Figura 6. Variación de la MO en el área de estudio	50
Figura 7. Valores de plomo (Pb) muestra inicial.	51
Figura 8. Valores de cadmio (Cd) muestra inicial.	52
Figura 9. Valores de cromo (Cr) muestra inicial	52
Figura 10. Valores de plomo (Pb) en maíz (<i>Zea mays</i> L.)	53
Figura 11. Valores de cadmio (Cd) en maíz (<i>Zea mays</i> L.).....	54
Figura 12. Valores de cromo (Cr) en maíz (<i>Zea mays</i> L.).....	54
Figura 13. Valores de plomo (Pb) en taya o tara	55
Figura 14. Valores de cadmio (Cd) en taya o tara.	56
Figura 15. Valores de cromo (Cr) en taya o tara.....	57
Figura 16. Valores de plomo (Pb) en rye grass y trébol rojo.....	58
Figura 17. Valores de cadmio (Cd) en rye grass y trébol rojo.....	58
Figura 18. Valores de cromo (Cr) en rye grass y trébol rojo	59
Figura 19. Comparación de la absorción de metales por especie	60
Figura 20. Área de estudio para fitorremediación.....	83
Figura 21. Desmonte acumulado por los pobladores de la ciudad de Cajabamba.....	83
Figura 22. Recolectores de residuos en el entorno del área de estudio	84
Figura 23. Dimensiones para establecer parcelas de siembra.....	84

Figura 24.	Preparación de hoyos para trasplantar la taya (<i>Tara spinosa</i> Kuntze)	85
Figura 25.	Altura de la planta de taya (<i>Tara spinosa</i> Kuntze).....	85
Figura 26.	Siembra de trébol rojo y rye grass (<i>Lolium multiflorum</i> Lam. y <i>Trifolium pratense</i> L.)	86
Figura 27.	Instalación de la parcela de Maíz (<i>Zea mays</i> L.).....	86
Figura 28.	Distribución de parcelas	87
Figura 29.	Cultivo de Maíz para cosecha (<i>Zea mays</i> L.).....	87
Figura 30.	Desarrollo radicular del cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.)	88
Figura 31.	Dimensión radicular del cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.).....	88
Figura 32.	Desarrollo del maíz (<i>Zea Mays</i> L.).....	89
Figura 33.	Desarrollo de la taya (<i>Tara spinosa</i> Kuntze)	89
Figura 34.	Asociación de trébol rojo y ray grass (<i>Trifolium pratense</i> L. y <i>Lolium multiflorum</i> Lam.)	90
Figura 35.	Dimensión del cultivo de Trébol Rojo (<i>Trifolium pratense</i> L.).....	90
Figura 36.	Métodos para el análisis de las muestras de suelo. Laboratorio de Agua y Suelo FIA	91
Figura 37.	Resultados caracterización de la muestra inicial del proyecto de investigación	92
Figura 38.	Resultados muestra inicial de metales del proyecto de investigación	93
Figura 39.	Resultados de caracterización de muestra posterior de metales del proyecto de investigación.....	94
Figura 40.	Resultados maíz (<i>Zea mays</i> L.) muestra posterior de metales del proyecto de investigación.....	95
Figura 41.	Resultados taya (<i>Tara spinosa</i> Kuntze) muestra posterior de metales del proyecto de investigación	96

Figura 42.	Resultados rye grass y trébol rojo (<i>Lolium multiflorum</i> Lam y <i>Trifolium pratense</i> L.) muestra posterior de metales del proyecto de investigación .	97
Figura 43.	Especificaciones técnicas GPS 78S.....	99

LISTA DE ABREVIATURAS

ADP	Adenosín Di Fosfato
ATP	Adenosín Tri Fosfato.
FG	Fondo Geoquímico.
RDC	Residuos de Demolición y Construcción.
MINAM	Ministerio del Ambiente.
MIINVCS	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
PPM	Partículas Por Millón.
ATSDR	Agencia de Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades.
MA-DGP	Ministerio de Agricultura-Dirección General de Promoción Agraria.
INIA	Instituto Nacional de Investigación Agraria.

RESUMEN

En la actualidad por el crecimiento demográfico y mayor densidad poblacional se genera mayor cantidad de residuos de construcción los cuales no cuentan con un adecuado manejo afectando zonas agrícolas por lo que en el trabajo de investigación desarrollado en el distrito de Cajabamba, región Cajamarca, en una zona usada como desmontera por la población de la ciudad de Cajabamba, la importancia de la investigación radica en que los pobladores del entorno de la ciudad de Cajabamba brindan sus terrenos para su uso como desmontera y luego de ello lo usan para sus cultivos tradicionales, el objetivo del trabajo de investigación fue demostrar cuantitativamente que a través de la fitorremediación es posible la recuperación de suelos degradados para su uso agrícola. Se utilizó el método descriptivo donde se evaluaron tres metales pesados como plomo (Pb), cadmio (Cd) y Cromo (Cr) en parcelas de tratamiento con cuatro especies vegetativas: Taya, asociación de rye grass y trébol rojo y maíz, de uso común para los pobladores de la zona, la evaluación se desarrolló con las muestras de suelo que se obtuvo antes de iniciar el proceso de siembra de los cultivos y al finalizar su proceso vegetativo, con los resultados se demostró que la Fitorremediación influye para que el suelo disminuya la concentración de los metales pesados. La concentración de Cromo posterior al proceso vegetativo presentó un valor de 0,232 ppm, con una disminución del 28,62% en el cultivo de Maíz (*Zea mays* L.), el Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) lograron una disminución mayor al 80% con valores de <0,005 y <0,05 respectivamente, en los cultivos de Taya (*Tara spinosa* Kuntze) y en el Rye Grass (*Lolium multiflorum* Lam.), Trébol Rojo (*Trifolium pratense* L.) se logró una disminución del 85% con un valor de <0,05 de Cromo.

Palabras Clave: Fitorremediación, parámetro, cultivo.

ABSTRACT

At present, due to population growth and higher population density, a greater amount of construction waste is generated, which is not properly managed, affecting agricultural areas. Therefore, the research work carried out in the district of Cajabamba, Cajamarca region, in an area used as land clearing by the population of the city of Cajabamba, the importance of the investigation lies in the fact that the inhabitants of the surroundings of the city of Cajabamba offer their lands for use as land clearing and then use them for their traditional crops. The objective of the investigation was to demonstrate quantitatively that through phytoremediation it is possible to recover degraded soils for agricultural use. The descriptive method was used where three heavy metals were evaluated as lead (Pb), cadmium (Cd) and chromium (Cr) in treatment plots with three vegetative species commonly used for the inhabitants of the zone. The evaluation was developed with soil samples obtained before beginning the process of sowing crops and at the end of the vegetative process, with the results it was demonstrated that phytoremediation influences the soil to decrease the concentration of heavy metals, the chromium (Cr) metal that later of the vegetative process showed a value of 0,232 ppm, with a decrease of 28,62% for the cultivation of Corn (*Zea mays* L.), Cadmium (Cd) and Lead (Pb) achieved a decrease greater than 80% with values of <0,005 and <0,05 respectively, in the cultivation of Taya (*Tara spinosa* Kuntze) and Rye Grass (*Lolium multiflorum* Lam.), Red Clover (*Trifolium pretense* L.) was achieved a decrease of 85% with a value of <0,05 chromium.

Keywords: Phytoremediation, parameter, crop.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Todos los suelos poseen metales pesados como resultado de los procesos geológicos y edafogénicos al contenido natural de elementos químicos existentes en un suelo se llama fondo geoquímico local (FG) o nivel de fondo Ross (1994), y representa una situación ideal que se debe conocer para determinar la contaminación por la presencia de cantidades de metales inusualmente elevadas Gough (1993), la determinación del FG en los suelos no es una tarea fácil, y su valor varía geográficamente sobre todo en función del material geológico Adriano (2001). Generalmente las rocas ígneas y metamórficas, que ocupan el 95% de la corteza terrestre Mitchell (1964), presentan cantidades elevadas de Mn, Cr, Co, Ni, Cu y Zn, y representan una fuente natural importante de metales pesados hacia los suelos Ross (1994).

Así mismo uno de los rasgos característicos de la sociedad actual, es la creciente emisión al ambiente de sustancias contaminantes, destacando aquellas que proceden de las actividades industriales, mineras, agropecuarias, artesanales y domésticas. Estos compuestos representan una amenaza para los seres vivos, por lo que se han desarrollado una serie de métodos para enmendar el impacto causado. Los métodos convencionales suelen ser costosos y pueden afectar de manera irreversible las propiedades del suelo, agua y de los seres vivos que en ellos habitan Delgadillo et al (2011).

Es así que se observa que en la ciudad de Cajabamba no se cuenta con un depósito de manejo de residuos de construcción y manejo de residuos sólidos para un adecuado tratamiento y confinamiento, por lo que los residuos provenientes de actividades antropogénicas son dispuestos en áreas agrícolas en la actualidad, lo cual representa un problema.

En este sentido el presente estudio se planteó evidenciar la presencia y concentración de metales como plomo (Pb), cadmio (Cd) y cromo (Cr) en el suelo producto de la disposición de desmonte en área agrícolas y que a través de la fitorremediación con especies vegetativas propias de la zona como maíz (*Zea mays* L.), taya (*Tara spinosa* Kuntze) y la asociación de rye grass (*Lolium multiflorum* Lam.) con trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) los niveles de concentración de metales pueden disminuir.

Delgadillo et al. (2011) menciona que la fitorremediación representa una alternativa sustentable y de bajo costo para la rehabilitación de ambientes afectados por contaminantes naturales y antropogénicas, la fitorremediación es un conjunto de tecnologías que reducen in situ o ex situ la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas.

La presente investigación brinda información técnica para ser utilizada como referencia a zonas manejadas como desmonteras, que luego de un acondicionamiento técnico pueden ser utilizadas como áreas de cultivos por los pobladores locales de la ciudad de Cajabamba.

Objetivo general

Determinar el porcentaje de disminución de concentraciones de metales pesados como plomo (Pb) Cadmio (Cd) y Cromo (Cr) y que a través de la fitorremediación usando especies como maíz (*Zea mays* L.), taya (*Tara spinosa* Kuntze) y la asociación de trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) y rye grass (*Lolium multiflorum* Lam.) se puede recuperar los suelos utilizados como desmontera por parte de los habitantes de la ciudad de Cajabamba.

Objetivos específicos

- a. Identificar la presencia de metales pesados, en el suelo con desmonte, como plomo (Pb) Cadmio (Cd) y Cromo (Cr).
- b. Determinar el efecto de los cultivos de maíz (*Zea mays* L.), taya (*Tara spinosa* Kuntze) y la asociación de trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) y rye grass (*Lolium multiflorum* Lam.) en la fitorremediación de suelos en desmonte.
- c. Comparar los valores cuantitativos de concentración del Cd, Pb, Cr obtenidos en la etapa de pre-cosecha y post cosecha en los cultivos maíz (*Zea mays* L.), taya (*Tara spinosa* Kuntze) y la asociación de trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) y rye grass (*Lolium multiflorum* Lam.).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Según Chico et al (2012) en el estudio Capacidad remediadora de la raíz de girasol, *Helianthus annuus*, cuando es sometida a diferentes concentraciones de plomo. Afirma que la toxicidad que causa el plomo hacia una especie de planta, varía en función de su genotipo, así como de las condiciones experimentales a las que éstas son sometidas.

Jara et al. (2014) en el estudio Capacidad fitorremediadora de cinco especies alto andinas de suelos contaminados con metales pesados, indica la presencia de altas concentraciones de plomo, zinc, cadmio y otros metales del relave polimetálico se asocian a una baja producción de biomasa, en comparación con el tratamiento control.

(MINAM 2014), en la Guía para la elaboración de planes de descontaminación de suelos, nos dice que los estudios de evaluación de riesgo para la salud y el ambiente, se elabora a través del modelo conceptual del sitio considerando las características físico químicas, distribución, mecanismos de liberación y de transporte de los suelos disturbados. Nos presenta también que los tipos de acciones de remediación se pueden aplicar solos o en combinaciones, los mismos que pueden ser: acciones para evitar la dispersión de contaminantes, acciones para el control del uso del suelo, y acciones para el monitoreo del suelo.

El Ministerio del Medio Ambiente como organismo rector de la gestión ambiental ha definido, entre otros temas, instrumentos administrativos necesarios para prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, al tiempo que debe impulsar mecanismos de concertación con el sector privado y los diferentes sectores productivos, con el fin de

introducir la dimensión ambiental en sus diferentes actividades. En este sentido, las guías de manejo ambiental, a mediano y largo plazo, deben ser una herramienta de trabajo para todas las autoridades que conforman el Sistema Nacional Ambiental, al tiempo que permitan establecer los parámetros ambientales que deben cumplir los productores del sector agropecuario. Así mismo, las guías de manejo ambiental deben propender al ejercicio de la autoridad sobre el control posterior a la realización de las actividades productivas, bajo el propósito de establecer acciones efectivas que aseguren el cumplimiento de los principios constitucionales y legales (MINAM, 2014).

(MINAM 2016), el manejo de los residuos de construcción es desarrollado de manera selectiva, sanitaria y ambientalmente óptima, teniendo en cuenta la clasificación y el destino de los mismos, con la finalidad de prevenir riesgos sanitarios, proteger y promover la calidad ambiental, la salud y el bienestar de la persona humana.

Estudios realizados por Robayo et al (2015) los residuos de la construcción y demolición en la ciudad de Cali muestran que el número de obras de construcción, remodelación y demolición en las ciudades aumenta de manera constante como consecuencia del crecimiento y desarrollo socioeconómico de la población urbana. Sin embargo, estas prácticas generan grandes volúmenes de residuos que en la actualidad se han convertido en un problema de contaminación ambiental. La búsqueda de soluciones integrales que permitan un adecuado manejo, gestión y aprovechamiento de los diferentes materiales que componen los residuos de la construcción y demolición era impensable hace algunas décadas. No obstante, hoy día es un desafío apremiante para los diferentes sectores de la sociedad que deben encaminar esfuerzos para encontrar soluciones a este tipo de residuos.

Conociendo el tipo de residuos generados en obras principalmente de construcción civil y por otro lado teniendo el alcance de la siembra de algunas especies que son resistentes a ciertos tipos de suelos, las cuales mejoran la textura del mismo, se puede ejercer una interacción de especie planta y suelo, es por eso que la Guía de manejo ambiental para los cultivos de cereales y leguminosas se convierte en un instrumento de consulta y orientación que contiene los lineamientos metodológicos y procedimentales generales para este tipo de cultivos, bajo un enfoque de gestión ambiental integral Robayo (2015).

Según Guerry (2008) en su estudio de caracterización de residuos de la construcción y demolición de edificaciones para su aprovechamiento, indica que el porcentaje de residuos de construcción generados que puede ser recuperado está alrededor del 86%, siempre y cuando se mantengan cada uno de los componentes adecuadamente caracterizados y almacenados desde su generación hasta su destino final, pasando por un manejo integral de la mano con los mecanismos técnico legales que prácticamente obliguen a los involucrados a tomar conciencia de la importancia del manejo adecuado de estos residuos a fin de controlar la contaminación que ocasionan al medio ambiente.

Según López et al (2005) indican en el estudio de Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas, que la fitorremediación es una tecnología viable, eficiente y útil para la limpieza de suelos contaminados. Su efectividad ha sido demostrada con todo tipo de contaminantes xenobióticos que van desde las moléculas inorgánicas hasta las orgánicas. La fitorremediación incluye interacciones complejas en donde participan la planta, el suelo y los contaminantes. Las interacciones entre los diferentes actores son múltiples y no son claras, es posible identificar los efectos positivos de la presencia de las plantas, pero no se conocen los

mecanismos de la fitorremediación, tampoco el desempeño y la ponderación de las etapas en donde los contaminantes son absorbidos y transformados hasta su destino final.

Delgadillo et al. (2011) la Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación, indica que los problemas de contaminación que existen actualmente requieren de tecnologías costo-efectivas, ambientalmente ecológicas y que puedan aplicarse a gran escala, tal es el caso de la fitorremediación. La capacidad de las plantas para absorber, adsorber, metabolizar, acumular, estabilizar o volatilizar contaminantes orgánicos y/o inorgánicos; aunada a las complejas interacciones que establecen con la rizósfera, así como la generación de plantas, confieren a esta tecnología importantes ventajas sobre otros métodos convencionales de remediación de la contaminación.

Cordero (2015) en su investigación fitorremediación in situ para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados (Plomo, Cadmio) y evaluación de selenio en la finca furatena alta en el municipio de Utica. La contaminación por metales pesados se debe manejar ya que estos elementos pueden quedar retenidos por procesos de adsorción, de complejación y de precipitación, ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas. También pueden pasar a la atmosfera por volatilización y moverse a las aguas superficiales y subterráneas; y causar impactos negativos en el medio ambiente, la salud humana y animal.

Bayón (2015) indica en el estudio: Aplicación de la fitorremediación a suelos contaminados por metales pesados indica que los metales pesados constituyen uno de los grupos de contaminantes ambientales sujetos a una mayor investigación y preocupación, fundamentalmente debido a su persistencia, a las bajas concentraciones a las que pueden manifestar sus efectos tóxicos. Todo esto, junto con su acumulación progresiva y/o su

transferencia a otros medios naturales (como las aguas subterráneas), su entrada en la cadena trófica, etc., suponen una amenaza para la salud humana y la de los ecosistemas.

Por todo esto, la legislación europea obliga a restaurar dichos suelos mediante acciones de remediación que permitan extraer, controlar, contener o reducir los contaminantes de un área determinada. Dentro del amplio abanico de tecnologías existentes para ello, la fitorremediación, que implica la utilización de plantas, y en especial la fitoextracción, se presenta como una técnica emergente que supone, generalmente, unos menores costes y una menor destrucción y alteración del medio. Sin embargo, se encuentra todavía en fase experimental y presenta grandes limitaciones que la convierten en un proceso lento y difícil de llevar a la práctica, dada la competencia con otras técnicas usualmente empleadas Bayón (2015).

Según García, (2009) en el trabajo de investigación Capacidad remediadora y bioacumuladora de los órganos de *Helianthus annuus* L. “girasol” cuando son sometidas a diferentes concentraciones de plomo. Nos indica que Ciertas especies vegetales tienen capacidad para absorber, acumular y/o tolerar altas concentraciones de contaminantes como metales pesados, una de ellas es *Helianthus annuus* L. a quien se sometió a diferentes concentraciones de plomo y se evaluó su capacidad remediadora y bioacumuladora, utilizando tratamientos de 0, 500 y 1000 ppm de Pb, con tres repeticiones.

Las semillas fueron sembradas y cultivadas en macetas con suelo de textura arenosa, en donde se aplicó los tratamientos en forma de solución de nitrato de plomo y fertilizantes, bajo condiciones de invernadero. Los resultados muestran que las plantas sometidas a 1000 ppm de Pb acumularon mayor cantidad de plomo, almacenándose la mayor parte en la raíz y en menor cantidad en tallo y hojas; sin embargo a nivel de

clorofilas, peso fresco, peso seco, longitud de raíz y longitud de tallo, presentó valores menores con respecto a los tratamientos de 0 y 500 ppm de Pb, por lo que nos permite concluir que *H. annuus* L. es una planta remediadora y bioacumuladora, donde la raíz es el órgano con mayor capacidad de bioacumulación y, que el crecimiento se ve afectado a concentraciones mayores a 1000 ppm de plomo, este trabajo fue desarrollado de manera experimental en la ciudad de Trujillo Perú García (2009).

Según Argota et al, (2014) en su trabajo de investigación Coeficientes biológicos de fitorremediación de suelos expuestos a plomo y cadmio utilizando *Alopecurus magellanicus bracteatus* y *Muhlenbergia angustata* (poaceae), puno, Perú indica fue determinar los coeficientes biológicos de fitorremediación en suelos de relave mineros por exposición asimilable a Pb y Cd, utilizando a *Alopecurus magellanicus bracteatus* y *Muhlenbergia angustata* (Poaceae) de Ananea, Puno, Perú. Entre marzo y agosto del 2013, se seleccionaron diez puntos de muestreo próximos a una zona minera de Ananea-Puno, Perú. Los metales analizados fueron cuantificados mediante espectrometría por plasma inductivamente acoplado. Para evaluar el potencial de fitorremediación se determinaron tres coeficientes biológicos: coeficientes de absorción biológico- BAC, factor de translocación - BT y factor de remediación -RC de *A. magellanicus bracteatus* y *M. angustata*. Se observaron diferencias en la raíz, hoja, BT, RC entre el Pb y el Cd de ambas especies de plantas en conjunto. No se vieron diferencias entre el Pb y Cd para el BAC. No se encontraron diferencias entre *A. magellanicus bracteatus* y *M. angustata* en la concentración de Pb y Cd en la raíz, y en las hojas. No se encontraron diferencias entre *A. magellanicus bracteatus* y *M. angustata* en la BAC, BTy RC del Pb, y del Cd. El potencial de fitorremediación para ambas especies de plantas fue bajo.

Según Gonzales et al. (2016) en el trabajo Fitorremediación de un suelo con exceso de cobre utilizando cuatro especies vegetales; “girasol”, “alfalfa”, “geranio” e “higuerilla” nos indica que la finalidad de determinar la capacidad de Fitorremediación de cuatro especies vegetales se evaluó: *Helianthus annuus* “girasol”, *Medicago sativa* “alfalfa”, *Pelargonium zonale* “geranio” y *Ricinus communis* “higuerilla” sembradas en un suelo de la campiña de Moche Trujillo enmendado artificialmente con 278 mg/kg de sulfato de cobre (CuSO₄), a los 15 días se evaluó porcentaje de germinación, a los 90 días se midió el desarrollo vegetativo y al final del ensayo el nivel de cobre disponible hallado en el suelo de cada una de los cuatro tratamientos. Los resultados finales mostraron que las cuatro especies redujeron significativamente el nivel de cobre disponible en el suelo enmendado, destacando la alfalfa que logro bajar el nivel de cobre a 77 mg/kg, lo que representa 201 mg/kg de capacidad de extracción, seguido del geranio que redujo el nivel de cobre a 89 mg/kg, la higuerilla a 90 mg/kg y por último el girasol a 119 mg/kg.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. El suelo

En términos generales puede definirse al suelo como un ente tridimensional vivo compuesto de materiales inorgánicos como minerales, agua y aire, que contempla una fracción orgánica, además de micro y macro - fauna encargados de la degradación de la materia en el suelo. Normalmente en el suelo se encuentran en equilibrio muchas sustancias orgánicas e inorgánicas que podrían considerarse peligrosas para el hombre, y sólo cuando estas sustancias alcanzan niveles que ponen en riesgo la salud humana y el de los ecosistemas, se habla de contaminación del suelo Maqueda (2003).

Albareda (2005) menciona que al suelo como “una formación limítrofe, zona en que se compenentran la parte sólida, líquida y gaseosa de la tierra, lo mineral inorgánico,

seres vivos y restos de la vida, crecimientos y destrucciones, lavados y evaporaciones, una complejidad natural sometida a una complejidad dinámica”.

2.2.2. La contaminación del Suelo

La contaminación del suelo es provocada por diversas actividades antropogénicas, tales como: la minería, explotación petrolera, actividades agrícolas, industriales, basureros a cielo abierto.

Se consideran residuos de construcción y demolición (en adelante RCD) aquellos que se generan en el entorno urbano y no se encuentran dentro de los comúnmente conocidos como Residuos Sólidos Urbanos (residuos domiciliarios y comerciales, fundamentalmente), ya que su composición es cuantitativa y cualitativamente distinta.

Se trata de residuos, básicamente inertes, constituidos por: tierras y áridos mezclados, piedras, restos de hormigón, restos de pavimentos asfálticos, materiales refractarios, ladrillos, cristal, plásticos, yesos, maderas y, en general, todos los desechos que se producen por el movimiento de tierras y construcción de edificaciones nuevas y obras de infraestructura, así como los generados por la demolición o reparación de edificaciones antiguas.

El origen de los residuos de construcción y demolición tal y como su nombre indica, provienen de la construcción y demolición de edificios e infraestructuras; rehabilitación y restauración de edificios y estructuras existentes; construcción de nuevos edificios y estructuras; así como de la producción de materiales de construcción, por ejemplo, una máquina de hacer hormigón, componentes del hormigón, artículos de madera, etc.

El sector de la construcción y edificación puede dividirse de acuerdo al objeto de la construcción en:

1. Sector de la edificación: Vivienda y edificios utilitarios, el cual incluye:
 - El sector de la vivienda que se dedica a la construcción, mantenimiento y renovación de viviendas.
 - El sector de edificación utilitaria que construye mantiene y renueva oficinas, edificios industriales y similares.

2. Sector de infraestructuras que incluye:
 - Construcción de carreteras;
 - Otras infraestructuras especiales (puentes, túneles, canales etc.)

La composición de los RCD, varía en función del tipo de infraestructuras de que se trate y refleja en sus componentes mayoritarios, el tipo y distribución porcentual de las materias primas que utiliza el sector, si bien hay que tener en cuenta que éstas pueden variar de un país a otro en función de la disponibilidad de los mismos y los hábitos constructivos.

Los materiales minoritarios dependen en cambio, de un número de factores mucho más amplio como pueden ser el clima del lugar, el poder adquisitivo de la población, los usos dados al edificio, carreteras, etc.

Por otro lado, la composición de las edificaciones varía a lo largo del tiempo y con ello también cambia la composición de los RCD, según sea la edad del edificio o estructura que es objeto de demolición.

La contaminación constituye uno de los ocho procesos claves de degradación de los suelos identificados en el marco de la Unión Europea (EC-JCR, 2005). Se estima que

el número de suelos potencialmente contaminados en la Unión Europea está entre 3 250 000 y 3 600 000, y la gran mayoría de estos suelos presentan cantidades variables de metales pesados que son movilizados, principalmente, por diferentes actividades antropogénicas Diez (2008).

Si bien muchas de las sustancias contaminantes pueden encontrarse en forma natural en el suelo, muchas de ellas tienen como fuentes principales las actividades humanas como la minería, la explotación petrolera, actividades agrícolas, industriales, inclusive las actividades en las ciudades a través del mal manejo de los residuos sólidos y aguas residuales Maqueda, (2003)

2.2.3. Metales pesados en el Ambiente.

Los metales pesados contribuyen fuertemente a la contaminación ambiental, la cantidad de metales disponibles en el suelo está en función del pH, el contenido de arcillas, contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y otras propiedades que las hacen únicas en términos de manejo de la contaminación Sauve et al (2000).

Además, son definidos como elementos con propiedades metálicas (Conductividad, ductilidad, etc.) número atómico mayor a 20, y cuya densidad es mayor a los 5 g cm³, se consideran metales pesados al plomo, cadmio, cromo, mercurio, zinc, cobre, plata, y arsénico constituyen un grupo de gran importancia ya que algunos son esenciales para las células, pero en altas concentraciones pueden resultar tóxicos para los seres vivos, tales como humanos, organismos en el suelo, plantas y animales Spain y Alm (2003).

Estos contaminantes pueden alcanzar niveles de concentración que provocan efectos negativos en las propiedades físico químicas y biológicas como: reducción del contenido de la materia orgánica, disminución de nutrientes, variación del pH generando suelos ácidos, amplias fluctuaciones en la temperatura, efectos adversos en el número de diversidad y actividad en los microorganismos de la rizósfera, dificultan el crecimiento de una cubierta vegetal protectora favoreciendo la aridez del suelo, y la dispersión de los contaminantes hacia zonas y acuíferos adyacentes y como consecuencia aumenta la vulnerabilidad de la planta al ataque por insectos, plagas y enfermedades, afectando su desarrollo Zhuang et al (2007).

Las principales fuentes de metales pesados son las actividades naturales, como los desgastes de los suelos, que constituyen una fuente relevante de los metales pesados en el suelo, así como también actividades antropogénicas como la industria minera que está catalogada como una de las actividades industriales más generadora de metales pesados, en el suelo los metales pesados están presentes como iones libres, compuestos metálicos solubles, compuestos insolubles como óxidos, carbonatos e hidróxidos Pineda (2004).

Dentro de los metales pesados hay dos grupos; oligoelementos o micronutrientes: son los requeridos en pequeñas cantidades o cantidades traza por plantas y animales que son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasado cierto umbral se vuelven tóxicos como el As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Fe, Se y Zn y metales pesados sin función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos lleva pareja disfunciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos, el Cd, Hg, Pb, Sb, Bi, Sn, Tl García y Dorronsoro (2005).

2.2.3.1. Efectos de los Metales Pesados en el Suelo

Cuando el contenido de metales pesados en el suelo alcanza niveles que rebasan los límites máximos permitidos, causan efectos inmediatos como inhibición del crecimiento normal y el desarrollo de las plantas, y un disturbio funcional en otros componentes del ambiente, así como la disminución de las poblaciones microbianas del suelo, el término que se usa o se emplea es “polución de suelos” (Martin, 2000). En el suelo, los metales pesados están presentes como iones libres, compuestos metálicos solubles, compuestos insolubles como óxidos, carbonatos e hidróxidos. Su acción directa sobre los seres vivos ocurre a través del bloqueo de las actividades biológicas, es decir, la inactivación enzimática por la formación de enlaces entre el metal y los grupos –SH (sulfhidrilo) de las proteínas, causando daños irreversibles en los diferentes organismos. La contaminación en suelos por metales pesados ocurre cuando estos son irrigados con aguas procedentes de desechos de minas, aguas residuales contaminadas de parques industriales y municipales y filtraciones de presas de jales Wang y Chao (1992).

El pH es un factor esencial, para que la mayoría de los metales tiendan a estar más disponibles en un pH ácido, excepto As, Mo, Se y Cr, los cuales tienden a estar más disponibles a pH alcalino es una variable importante para definir la movilidad del catión, debido a que en medios con pH moderadamente alto se produce la precipitación como hidróxidos. En medios muy alcalinos, pueden nuevamente pasar a la solución como hidroxicomplejos. La adsorción de los metales pesados está fuertemente condicionada por el pH del suelo, por tanto, también su biodisponibilidad de sus compuestos Alloway (1995).

La materia orgánica puede adsorber tan fuertemente a algunos metales, como es el Cu, que pueden quedar en forma no disponible por las plantas, motivo por el cual, algunas plantas crecidas en suelos ricos en materia orgánica, presentan carencia de elementos como el Cu, Pb y Zn, eso no significa que los suelos no estén contaminados ya que las poblaciones microbianas se reducen notablemente. La textura favorece la entrada e infiltración de la contaminación de metales pesados en el suelo, por ejemplo, la arcilla tiende a adsorber a los metales pesados, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio, por el contrario, los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación de los metales pesados, los cuales pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos Pineda (2004).

2.2.3.2. Movilización de Metales Pesados en el Suelo

La contaminación del suelo por metales pesados está fundamentalmente relacionada con diferentes tipos de actividades antropogénicas. Una vez en el suelo, estos pueden quedar retenidos en el mismo, pero también pueden ser movilizados en la solución del suelo mediante diferentes mecanismos biológicos y químicos Pagnanelli et al (2004).

Los metales pesados adicionados a los suelos se redistribuyen y reparten lentamente entre los componentes de la fase sólida. Dicha redistribución se caracteriza por una rápida retención inicial y posteriores reacciones lentas, dependiendo de las especies del metal, propiedades del suelo, nivel de introducción y tiempo Han et al (2003).

Los factores que influyen en la movilización de metales pesados en el suelo son:
Características del suelo: pH, potencial redox, composición iónica de la solución del suelo, capacidad de cambio, presencia de carbonatos, materia orgánica, textura;

naturaleza de la contaminación: origen de los metales y forma de deposición y condiciones medioambientales: acidificación, cambios en las condiciones redox, variación de temperatura y humedad (Sauquillo et al (2003).

En general, los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías:

- (i) Quedan retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la fase acuosa del suelo, ocupando sitios de intercambio o específicamente adsorbidos sobre constituyentes inorgánicos del suelo,
- (ii) Asociados con la materia orgánica del suelo y/o precipitados como sólidos puros o mixtos;
- (iii) Son absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas;
- (iv) Pasan a la atmósfera por volatilización y se movilizan a las aguas superficiales o subterráneas García y Dorronsoro (2005).

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 Banat, Howari, y Al-Hamad, (2005).

La toxicidad de los metales depende no sólo de su concentración, sino también de su movilidad y reactividad con otros componentes del ecosistema Abollino et al (2002).

2.2.4. Plomo (Pb)

Se ubica en el grupo IVA (metales) en la tabla periódica. El Pb es un metal gris azulino que se presenta en forma natural y en pequeñas cantidades (0.002%) en la corteza terrestre. Este elemento, es generalmente obtenido de la galena (PbS), la anglesita (PbSO₄) y la curocita (PbCO₃). El Pb es tóxico para el sistema nervioso y se

asocia con la depresión de muchas funciones endócrinas, aunque no hay evidencia de efectos teratogénicos o carcinogénicos. El uso más amplio del Pb elemental es para la fabricación de acumuladores; también es usado para la fabricación de tetra etilo de plomo, pinturas, cerámicas, forros para cables, elementos de construcción, vidrios especiales, pigmentos, soldadura suave y municiones Guitart (2005).

El Pb, en el suelo, se encuentra principalmente en forma de Pb^{2+} , también es conocido su estado de oxidación $+4$. Algunos de los compuestos insolubles son $Pb(OH)_2$, $PbCO_3$, PbS , $PbSO_4$. La velocidad de oxidación depende de factores como la humedad, la temperatura, el pH, el potencial redox, la cantidad de materia orgánica o la roturación de los suelos Guitart (2005).

2.2.4.1. Efecto del Plomo en el Ambiente

Desde hace algunas décadas la importancia del plomo como contaminante ecotoxicológico ha sido bien conocida. Así, el impacto de los metales pesados de origen antropogénico en el ambiente, ha sido objeto de estudio en varias investigaciones. El plomo (Pb) se considera un contaminante ecotoxicológico ya que su uso provoca contaminación ambiental y exposición en humanos. La principal vía de biodisponibilidad son el suelo y el polvo, donde se concentra y por medio del cual ingresa a los organismos. El manejo inadecuado de materiales con plomo ha sido causante de numerosos problemas ambientales en todo el mundo; sin embargo, no todo el plomo del suelo presenta el mismo grado de movilidad o biodisponibilidad. La distribución química del plomo en el suelo depende del pH, de la mineralogía, textura, materia orgánica, así como de la naturaleza de los compuestos de plomo contaminantes. El suelo es uno de los mayores reservorios en los cuales se acumula la contaminación ambiental Alloway (1995).

Más del 90% de la contaminación ambiental producida es retenida en las partículas de suelo y cerca del 9% es interceptada en los sedimentos acuáticos. Particularmente, la contaminación de un suelo contaminado con Pb es de preocupación ya que éste presenta un alto tiempo de residencia en el suelo, estableciéndose un equilibrio dinámico con la hidrosfera, atmósfera y biosfera y de esta forma alterando el ecosistema, incluyendo al ser humano Huang (1999).

2.2.5. Cromo (Cr)

Este elemento (número atómico 26), exhibe dos estados relativamente estables: el trivalente (Cr III) y el hexavalente (Cr VI), de los cuales el último se considera altamente tóxico. Este metal se presenta naturalmente en el suelo en el rango entre 10 a 50 mg/kg. El Cr se utiliza en el procesamiento de cuero y en la obtención de acero y también hace parte de los ingredientes de agentes de limpieza. El Cr VI se utiliza en la industria para procesos de esmaltado de materiales y en los tanques de agua. Recientemente se utiliza en la preservación de la madera. Estas actividades han llevado a la contaminación que actualmente se observa con Cr Huang (1999).

El cromo ocurre naturalmente como cromita (FeCr_2O_4) y en compuestos que contienen Pb, como en el caso de cromato de plomo, PbCrO_4 Peralta et al (2009). En el agua contenida en el suelo, la forma predominante de cromo es la hexavalente, presente como cromatos (CrO_4^{2-}) y dicromatos ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), y se caracteriza por ser tóxico y de la alta movilidad Huang (1999).

2.2.5.1. Efectos del Cromo en el Ambiente.

La absorción de Cr en las plantas, ha sido un proceso que no se ha estudiado tanto como en el caso de los otros metales pesados, y esto se debe a la complejidad electrónica del elemento, que ha sido un obstáculo y no ha permitido elucidar su

mecanismo de toxicidad para las plantas. Sin embargo, se citan ejemplos específicos de la toxicidad de Cr en la germinación, elongación de raíces y producción de materia seca Huang (1999).

En plantas, concentraciones de Cr entre 0.05 y 1 mg/l promueven el crecimiento y la producción de biomasa. Este metal entra en las plantas mediante la reducción o la formación de complejos con los exudados radiculares tales como ácidos orgánicos, que incrementan su movilidad en la planta. Tanto el Cr III como el Cr VI, entran a las células a través de la ruta simplástica Huang (1999).

2.2.6. Cadmio (Cd)

El cadmio (número atómico 48), es liberado a la atmósfera por medio de volcanes, arrastre de partículas o emisiones biogénicas, combustión fósil y por actividades antropogénicas (similares a las presentadas en Pb). De acuerdo a los contenidos normales de cadmio en el suelo alrededor del mundo, se puede determinar que el rango de ocurrencia de este metal está entre 0,07 y 1,1 mg/kg y se considera que los valores mayores a 0.5 mg/kg son el producto de actividades antropogénicas Huang (1999).

2.2.6.1. Efectos del Cadmio en el Ambiente

El cadmio se considera un elemento no esencial en los sistemas biológicos. El cadmio biodisponible para las plantas en la solución del suelo, debe estar en forma de iones libres hidratados o ligado a otros compuestos orgánicos o inorgánicos. La absorción de Cd ocurre a través de los mismos transportadores para minerales como K, Ca, Mg y Fe. Una vez en el citoplasma, el Cd se liga a compuestos como el bisglutinationato, y se trasloca a los tejidos aéreos, alcanzando al xilema a través de las rutas apoplásticas o simplásticas, mediante la formación de complejos como ácidos orgánicos o fitoquelatinas, y se acumula posteriormente en las vacuolas. El cadmio

afecta negativamente los procesos de respiración y fotosíntesis, el transporte de agua, la absorción de potasio, hierro y manganeso. La presencia de formas iónicas libres de Cd en el citoplasma es tóxica Huang (1999).

2.2.7. Técnicas de Remediación de suelos

Ante los preocupantes efectos de los metales pesados, en especial del plomo, en la salud humana y en los ecosistemas es que se hace necesaria la búsqueda de metodologías que permitan la reducción del contenido de metales pesados en los principales depositarios de éstos, como el suelo, cuerpos de agua y aire. Técnicas tradicionales de remediación de metales pesados implican tratamientos tanto ex situ como in situ del suelo contaminado. Dentro de los tratamientos ex situ del suelo se contempla el lavado de suelos con agentes quelantes del tipo EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) u otros a fin de disolver el metal mediante la formación de complejos y lograr una eficiente extracción del contaminante, bajo condiciones controladas de pH Steele y Pichtel, (1998). Otros métodos incluyen el uso de procesos electrocinéticos para promover el movimiento de los metales hacia electrodos cargados eléctricamente Mulligan, Yong y Gibbs, (2001). Todos estos métodos sufren de serias limitaciones dado que implican remoción de suelo, alteración de sus propiedades, así como de su micro y macro flora asociada. Una de las principales limitaciones es el elevado costo que estas técnicas implican.

En lo que respecta a las técnicas de tratamiento in situ del suelo, si bien no se realiza remoción del suelo, estos también se basan en principios similares a los anteriores. Dentro de las técnicas más usadas se han identificado solidificación y/o estabilización del contaminante, vitrificación, remediación basada en principios de electrocinética, estabilización química, lavado del suelo, y las más recientemente estudiadas, bio y fitorremediación de suelos Martin y Ruby (2004).

2.2.7.1. Fitorremediación de suelos

En busca de la mejor tecnología de remediación de los suelos contaminados surge la fitoremediación, que se define como el conjunto de métodos para degradar, asimilar, metabolizar o destoxificar metales pesados, compuestos orgánicos, radioactivos y petro derivados, por medio de la utilización de plantas que tenga la capacidad de sobrevivir en estos medios, las cuales en su mayoría son plantas endémicas del lugar donde se realiza la actividad.

Mentaberry (2011), nos presenta como alternativas de eliminación de contaminantes, la fitorremediación, alternativa económicamente competitiva con respecto a otras alternativas de remediación. Además, nos dice que la fitorremediación se basa en los procesos que ocurren naturalmente por el que las plantas degradan y secuestran contaminantes orgánicos e inorgánicos.

También nos dice que la fitorremediación presenta ventajas importantes como que algunos procesos degradados ocurren más rápido con plantas, que con microorganismos. Nos habla también del diseño del sistema de fitorremediación, en el cual se deben tener en cuenta lo siguiente:

- Selección de la especie vegetal.
- Esquema y densidad de las plantaciones.
- Análisis de riesgos contingentes (plagas, sequía. Etc)

Los tipos de plantas más utilizadas para la fitorremediación son las leguminosas, porque permiten enriquecer al suelo con N_2 y las pasturas, porque por su tipo de raíz permiten retener el suelo, para la fitorremediación se requiere establecer una cobertura vegetal abundante, sin embargo, la alta concentración del contaminante

será la principal limitante para el crecimiento de las plantas, además de la tolerancia de éstas al contaminante Mentaberry (2011).

Los árboles pueden ser utilizados para la recuperación de los suelos contaminados, pero las consecuencias ecológicas de su uso difieren con relación a las plantas herbáceas, debido a la forma de crecimiento, composición química y longevidad Colpaert (1998).

La fitorremediación (phytoremediation) consiste fundamentalmente en usar plantas para mejorar un problema de contaminación orgánica o inorgánica en el suelo o las aguas con en el uso de plantas, enmiendas del suelo y prácticas agronómicas para eliminar, retener, o disminuir la toxicidad de los contaminantes del suelo. A finales de los años 90 aparecieron frecuentes revisiones y artículos de prospectiva sobre fitorremediación de suelos que describían todas las técnicas que se engloban dentro de este término Moreno (2010).

La proporción en que se encuentran estos tres tipos de partículas determina la textura del suelo. Los tres tipos diferentes de partículas difieren en su tamaño y en su capacidad de retención de nutrientes. La arena forma las partículas más grandes y la arcilla las más finas Moreno (2010).

El contenido de materia orgánica de los suelos puede variar considerablemente, dependiendo del material madre, las condiciones climáticas y el manejo:

- Los suelos ricos en materia orgánica, principalmente en regiones frías, pueden tener 60 –70 por ciento de humus.
- Los suelos forestales contienen más de 5 por ciento de materia orgánica.
- Los suelos que han sido arados por un largo tiempo y los suelos tropicales contienen entre 0,5-1,5 por ciento de materia orgánica.

Los suelos que tienen una adecuada agregación permiten la circulación del aire y el agua, la penetración de las raíces y evitan la formación de costras en su superficie. Además, facilitan un buen contacto entre las semillas y el suelo permitiendo una buena absorción de agua y, por ende, una rápida germinación.

Bonilla (2013), expone que El suelo requiere muchos más elementos para poder ser saludable. Muchos otros nutrientes son importantes, pero son usados en cantidades menores por las plantas y otros organismos del suelo, como ejemplo de ellos tenemos al Boro (B), Cobre (Cu), Hierro (Fe) y Molibdeno (Mo), la cantidad y la forma de la liberación de estos elementos menores, en la disponibilidad de nutrientes a la planta, es lo que diferencia a un suelo bueno de uno pobre.

Otro factor importante que debe considerarse es que los nutrientes del suelo deben estar en cantidades balanceadas y en una forma química para que puedan ser aprovechados de forma efectiva por las plantas Bonilla (2013).

Sierra y Rojas (1999), la materia orgánica de los suelos corresponde a compuestos orgánicos carbonados, de diferentes características químicas que se presentan estrechamente interrelacionados con la fracción inorgánica del suelo, principalmente arcilla. El clima determina el grado de acumulación de carbono orgánico en el suelo, a través de dos factores importantes: cantidad de precipitación y temperatura.

La combinación adecuada de humedad y temperatura promueve la formación de abundante fitomasa, esta vegetación recicla, integrándose al suelo e incrementando a través del tiempo el contenido de materia orgánica la fertilidad física, es el concepto menos considerado cuando se habla de fertilidad del suelo. La fertilidad del suelo generalmente se asocia con la actividad química de los nutrientes en el suelo, sin embargo, corresponde a una parte de fertilidad, que se puede definir como aquella

cualidad del suelo, que permite un óptimo crecimiento de las plantas Sierra y Rojas (1999).

La dinámica del agua, temperatura y el aire en el suelo, además de la resistencia mecánica al crecimiento radicular, están regulados principalmente por las propiedades físicas del suelo. Estas propiedades están determinadas por la textura y estructura, se sabe que el suelo es un recurso importante para desarrollar la agricultura, y ganadería, principalmente, si los suelos que han sido alterados con material de desmonte son recuperados con la fitorremediación pueden ir siendo incluidos como suelos agrícolas, la especie a sembrar depende mucho del lugar, las condiciones de clima, vegetación circundante, período de lluvia, temperatura y el destino final que se quiera dar al sembrío Sierra y Rojas (1999).

Las especies vegetales más utilizadas para este proceso de mejoramiento de suelos son los pastos y las leguminosas por las características morfológicas que presentan, de igual manera las especies seleccionadas para la siembra deben ser las que se adapten al clima de la zona en estudio Sierra y Rojas (1999).

Fontana (2014), señala que la biomasa microbiana del suelo y la actividad de las enzimas se consideran componentes importantes de la fertilidad del suelo, y un medio para fomentar este aspecto es la incorporación directa de un abono verde.

Una mezcla de leguminosas con otros cultivos sería una combinación ideal de recuperación, al menos en parte, del N absorbido por los cultivos, así como también reducen el potencial de lixiviación del mismo. En comparación con los fertilizantes nitrogenados sintéticos, las leguminosas utilizadas como abono verde además de incorporar importantes cantidades de N por vía simbiótica, aportan grandes cantidades de carbono y otros nutrientes.

El sistema radicular de las leguminosas conformado por una raíz principal y un sistema secundario, es el responsable de la importancia que tiene esta familia, el sistema secundario sobre todo absorbente, formado por un conjunto profuso (ramificado) de raíces, bastante lignificado, pero menos grueso que la raíz principal, también penetrantes y relativamente profundas, son las raíces que tienen la capacidad de asociarse simbióticamente con bacterias del suelo, del género *Rhizobium*, que se fijan al sistema radical formando unos nódulos que permite a la planta aprovecharse del nitrógeno del aire y de fijarlo al suelo (Sierra y Rojas, 1999), como se muestra en la Figura 1.

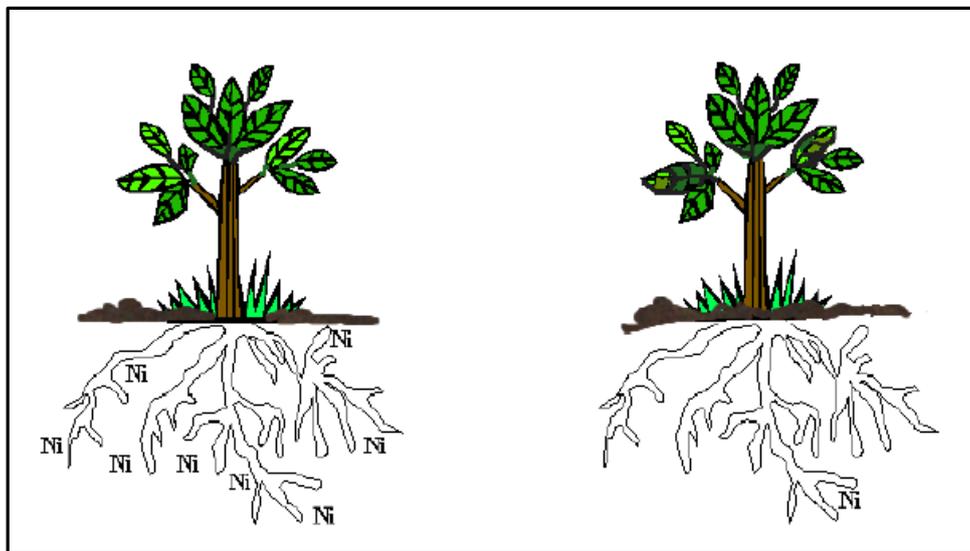


Figura 1. Extracción de Nutrientes a nivel radicular.

La importancia de las leguminosas radica en que presentan ciertas propiedades importantes como:

- Sujetan el suelo, por su potente estructura, y son muy interesantes en zonas con peligro de erosión, en revegetalizaciones.
- Son mejorantes del suelo, fertilizan, ya que son capaces de utilizar nutrientes y recursos de zonas profundas del suelo, reciclando elementos hacia la superficie.

- Constituyen un complemento total para las gramíneas para el aprovechamiento integral del suelo y para cubrir las necesidades proteicas y minerales que no proporcionan las gramíneas para lograr una ración alimenticia equilibrada para el ganado.
- Se auto suministran de nitrógeno y son capaces de ceder este nutriente al suelo y a las especies que las acompañan, realizando una fertilización directa.

Carpena y Bernal (2007) la fitorremediación abarca todas aquellas técnicas de descontaminación de suelos basadas en el uso de plantas, las mismas que pueden tanto acumular el elemento tóxico en su estructura o reducir su peligrosidad mediante su transformación química a sustancias estables. Según el tipo de proceso que realicen las plantas para remediar los suelos, se puede clasificar en:

- **Fitoextracción:** Uso de plantas acumuladoras de elementos tóxicos o compuestos orgánicos para retirarlos del suelo mediante su absorción y concentración en las partes cosechables.
- **Fito estabilización:** Uso de plantas para reducir la biodisponibilidad de los contaminantes en el entorno, alterando su composición ha formas más estables.
- **Fito inmovilización:** Uso de las raíces de las plantas para la fijación o inmovilización de los contaminantes en el suelo. Junto con la técnica anterior se les denomina de contención.
- **Fito volatilización:** Uso de plantas para eliminar los contaminantes del medio mediante su volatilización.
- **Fito degradación:** Uso de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes orgánicos.

- **Rizo filtración:** Uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua y de otros efluentes acuosos.

Este tipo de tecnologías relativamente recientes, presentan gran potencial en comparación con las tecnologías tradicionales puesto que, entre otras cosas, no generan daño al medio ambiente, son menos costosas y pueden ser fácilmente aceptadas por el público en general (Hazrat, Ezzat y Muhammad, 2013).

La idea de utilizar plantas con una alta capacidad de acumular metales, para removerlos selectivamente del suelo cuando se encuentran en exceso, fue propuesta en el año 1983 por Chaney y sus colaboradores, pero recién tuvo aceptación a partir de 1990 y se ha denominado como una tecnología práctica y potencialmente rentable. (Cunningham, Anderson, Schwab y Hsu, 1996)

Estas plantas poseen los genes que regulan la cantidad de metales tomados del suelo por las raíces y depositados en otras localizaciones dentro de la planta, estos genes gobiernan los procesos que pueden aumentar la solubilidad de los metales en el suelo que rodea las raíces, así como las proteínas del transporte que mueven los metales en las células de la raíz. Cunningham et al (1996)

Bonilla (2013), nos habla sobre los efectos de los metales pesados en el suelo, y que cuando el contenido de metales pesados en el suelo alcanza niveles que rebasan los límites máximos permitidos, causan efectos inmediatos como inhibición del crecimiento normal en las plantas y disturbios funcionales en otros componentes del ambiente, así como la disminución de las poblaciones microbianas del suelo, este tipo de contaminación se conoce como “polución del suelo”.

También Bonilla (2013), indica que las tecnologías utilizadas para el tratamiento de suelos contaminados han generado grandes avances en los últimos años, aunque existen aún muchos problemas por resolver. Los métodos utilizados para la eliminación de los contaminantes del suelo implican procesos químicos, físicos y biológicos, la utilización del método más apropiado en cada caso implica también una dificultad añadida.

Kabata (2004) indica que los sistemas de producción agrícola constituyen una fuente importante no puntual de contaminantes tipo metales pesados, y a su vez facilita la acumulación de éstos en el suelo y/o la transferencia en la cadena suelo - planta – consumidor, principalmente en regiones donde estos procesos se realizan de manera intensiva y sin periodos de descanso ni rotación de cultivos.

2.2.8. Especies Fitorremediadoras.

2.2.8.1. Acción Fitorremediadora del Maiz (*Zea Mays L.*)

Malkowski, et al (2005) demostraron que la raíz del maíz *Zea mays* es el órgano donde se acumula el plomo, en forma de Plomo–Fosfato, dado que este estimula el engrosamiento de la pared celular. No obstante, se ha demostrado recientemente que parte del flujo de metales pesados, al menos en el caso del Pb puede quedar retenido en la pared celular por la estructura de lignina y celulosa.

Grandez (2017), indica que el maíz brinda una buena remoción del metal pesado plomo, donde se obtuvo una reducción de 76.22 mg/kg a 50.50% mg/kg, utilizando enmiendas de compost y humus. Por su parte Munive et al (2018) concluyen que las enmiendas orgánicas: compost y vermicompost de Stevia contribuyen a la solubilización de los metales pesados (Pb y Cd) para una mejor absorción en las plantas de maíz, además en las raíces se presentan los mayores valores de extracción de plomo y cadmio, el maíz extrae mayor cantidad de plomo cuando el suelo presenta mayor

contenido en el suelo, asimismo extraen mayor cantidad de cadmio cuando el suelo presenta menor contenido, influenciado además por características del suelo.

La problemática derivada de la alta disponibilidad de los metales pesados en el suelo es su acumulación en las plantas, debido al contacto directo del tejido radical con el suelo contaminado. Dentro de la planta, los metales pesados pueden acumularse en la raíz o ser transportados al tejido aéreo (tallos y hojas), donde son incorporados a las cadenas tróficas a través de la herbivoría Covarrubias et al (2015).

2.2.8.1. Acción Fitorremediadora de la Taya (*Tara Spinosa Kuntze*)

La tolerancia hacia los metales pesados está representada por la habilidad de sobrevivir en un suelo que es tóxico a otras plantas, y se manifiesta mediante una interacción entre el genotipo y su ambiente, lo cual determina su sobrevivencia Ryan y Chaney (1997). Los mecanismos de tolerancia son en gran parte internos: los metales son absorbidos por plantas crecidas en sustrato metalífero, presentando una serie de adaptaciones fisiológicas y bioquímicas desarrolladas en varios grados para diferentes metales en diferentes especies y poblaciones Baker y Brooks (1989).

Almeida y Lima (2014) en su estudio análisis de la capacidad y tolerancia que presentan las especies forestales introducidas cepillo rojo y molle y las especies vegetales nativas guarango y chilca en suelos contaminados con plomo y níquel en el parque zonal puertas del sol, distrito metropolitano de Quito, 2014, nos indica que existe una alta correlación lineal positiva entre las variables peso versus la concentración de Pb de las especies Chilca y Guarango y con relación al Ni se dio únicamente en la especie Chilca.

2.2.8.2. Acción fitorremediadora rye grass (*Lolium multiflorum* Lam.) y trébol rojo (*Trifolium pratense* L.)

Durante los últimos años se ha producido un considerable avance en la biotecnología del campo de la ciencia que se dedica a remediar lugares o medios contaminados mediante el uso de plantas y organismos relacionados, denominada fitorremediación. Es especialmente significativo el desarrollo que se ha conseguido en la descontaminación de metales pesados. Se trata de identificar cuáles son los elementos clave que la genética molecular de plantas hace participar en la tolerancia y 8 acumulación de metales pesados. Se describe, además, el funcionamiento del interior de la célula vegetal cuando una planta se somete a concentraciones elevadas de metales pesados. Es razonable pensar que si se comprende dicho funcionamiento es sólo una cuestión temporal diseñar y obtener soluciones adecuadas a todos los problemas derivados de la contaminación por metales pesados Navarro et al (2007).

Pajuelo et al., (2007). El uso de leguminosas, tales como *Medicago sativa*, *Trifolium subterraneum* y *Lotus japonicum*, con agentes quelatantes como EDTA pueden aumentar la disponibilidad de EPT en un intento de utilizarlas en la fitoextracción. Sin embargo, los metales como As, Cu y Pb solo se absorben en raíz y no se traslocan a la parte aérea en plantas de *M. sativa* y *T. subterraneum*.

Los efectos positivos que manifiesta el rye grass en suelos orgánicos, son explicados en parte, por Navarro et al. (2007), cuando señala que la planta utiliza un mecanismo de complejación en el interior de la célula para detoxificar (amortiguar) los metales pesados, uniendo a ellos ligandos (sustancias enlazantes, p.e. agua) para formar complejos. De esta manera, el metal queda inmerso en una interacción química que le mantiene en equilibrio electrónico (acomplejado), pero que no lo deja

fuera del metabolismo, no se ha eliminado del citoplasma de la célula y, por ello, sigue siendo potencialmente tóxico.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del Ámbito de Estudio.

El área de estudio se encuentra en la provincia, distrito de Cajabamba la cual está situada al sur del Departamento de Cajamarca, en la sierra septentrional de Perú. Cajabamba está ubicada 124 Km. al Sur de Cajamarca y 60 Km. al Norte de Huamachuco, está a 2 650 msnm. El área de estudio se ubicó según coordenadas UTM WGS84 a 821 899 E. y 9 157 337 N. (Figura 2); así mismo se detalla las características demográficas, climáticas, geológicas, edafológicas e hidrológicas del predio del señor Jhon Custodio.

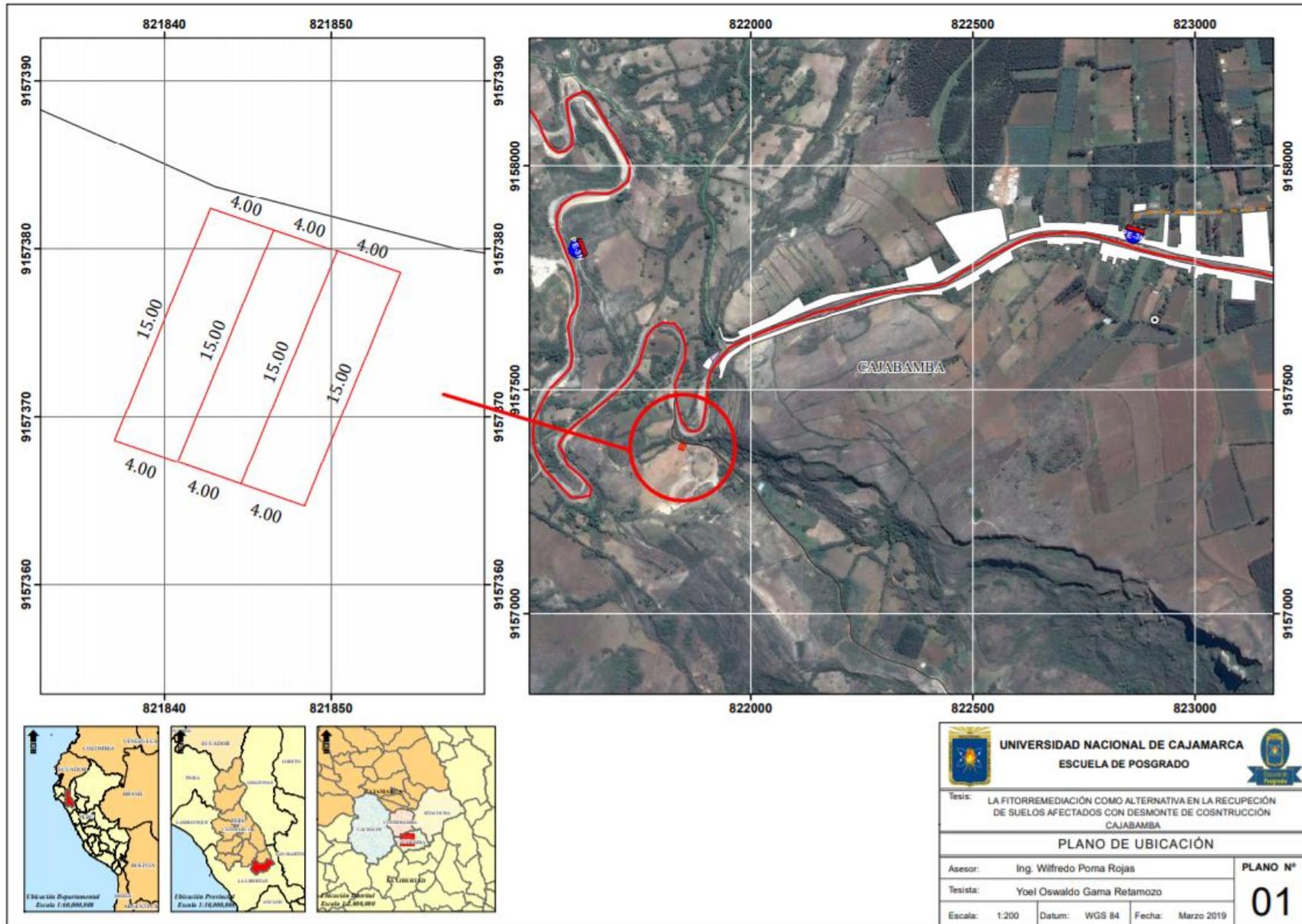


Figura 2. Ubicación.

3.1.1. Accesibilidad

La vía de acceso al área de estudio es por la carretera 3N Cajabamba – Cajamarca Km 154+600, por un acceso de 400 metros lineales.

3.1.2. Clima

En Cajabamba, los veranos son frescos y nublados y los inviernos son cortos, fríos, secos y parcialmente nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 4 °C a 17 °C y rara vez baja a menos de 1 °C o sube a más de 20 °C. En base a la puntuación de turismo, las mejores épocas del año para visitar Cajabamba para actividades de tiempo caluroso son desde finales de mayo hasta principios de junio y desde principios de agosto hasta principios de febrero.

3.1.3. Precipitación

Un día mojado es un día con por lo menos 1 milímetro de líquido o precipitación. La probabilidad de días mojados en Cajabamba varía durante el año. La temporada más mojada dura 6, 9 meses, del 7 de octubre al 2 de mayo, con una probabilidad de más del 16 % de que cierto día será un día mojado. La probabilidad máxima de un día mojado es del 31 % el 19 de marzo (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI 2018)

La temporada más seca dura 5 meses, del 2 de mayo al 7 de octubre. La probabilidad mínima de un día mojado es del 1 % en julio.

Entre los días mojados, distinguimos entre los que tienen solamente lluvia, solamente nieve o una combinación de las dos. En base a esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia, con una probabilidad máxima del 31 % en el mes de marzo (SENAMHI, 2018).

3.1.4. Geomorfología.

Para fines de este informe, las coordenadas geográficas de Cajabamba son latitud $-7,617^\circ$, longitud $-78,050^\circ$ y elevación de 2765 msnm. La topografía en un radio de 3 kilómetros de Cajabamba tiene variaciones enormes de altitud, con un cambio máximo de altitud de 791 m. y una altitud promedio sobre el nivel del mar de 2729 m. En un radio de 16 kilómetros contiene variaciones enormes de altitud (2543 metros). En un radio de 80 kilómetros también contiene variaciones extremas de altitud (4314 metros) (SENAMHI, 2018).

El área en un radio de 3 kilómetros de Cajabamba está cubierta de arbustos (51%), pradera (26%) y tierra de cultivo (16%), en un radio de 16 kilómetros de arbustos (40%) y pradera (39 %) y en un radio de 80 kilómetros de pradera (38 %) y arbustos (32%) (SENAMHI, 2018).

3.2. Equipos y materiales experimentales.

Para el desarrollo de los trabajos en campo se emplearon los siguientes materiales:

- 01 plumón Marcador.
- 01 tamiz Granulométrico.
- Bolsas ziplock de 1000 g.
- Palana.
- Etiqueta.
- Estaca de Madera.
- Letrero para identificar las parcelas de tratamiento.
- GPS 78s.
- Bolsa plástica.
- Laptop HP.

- Cámara fotográfica Nikon.
- Wincha.

3.3. Descripción del trabajo de investigación.

3.3.1. Metodología

La ejecución del presente trabajo de investigación se realizó en la propiedad del señor Jhon Custodio, natural de Cajabamba; contando con un terreno en donde realizaba la acumulación de materiales de construcción como; material de agregados, desmonte, entre otros residuos. Para el desarrollo de la investigación se tomó un área de 12,0 m x 15,0 m, para luego sub dividir en tres las parcelas en un área de 4.0m x 15,0 m; en el periodo del 2017 al 2018.

Se utilizaron las siguientes especies:

1. Maíz amarillo duro (*Zea mays* L.), el cual fue sembrado en el área designada, utilizando semilla de la localidad, la siembra se realizó en surcos, considerando una separación entre surcos de 0.80cm y un espacio entre golpes de 25 cm, por golpe se colocó 3 semillas.

La cantidad de semilla utilizada fue de 0.15 kg, considerando la especificación de 25kg/ha.

2. Taya (*Tara spinosa* Kuntze), se realizó la siembra de plántones de 4 meses de edad, en un sistema de siembra de tres bolillos considerando una distancia de 3m*3m, los hoyos de siembra se realizaron de 40cm*40cm.
3. Trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) en asociación con rey Grass (*Lolium multiflorum* Lam.), la siembra de pastos se realizó al voleo, con semilla adquirida en la localidad.

La cantidad de semilla utilizada fue de 0.300kg de rye grass y 0.400 kg de trébol rojo. Considerando la especificación de 4kg/Ha en Rye grass y 5kg/Ha en trébol rojo.

Se estableció un número de 3 parcelas, debido a la disposición de terreno brindado por el propietario, siendo además estas zonas las más afectadas por residuos provenientes de construcción.

3.3.1.1. Muestra

Para la toma de muestra se tomó una sola muestra de suelo, y como materiales se utilizó un balde y una palana.

La obtención de la muestra inicial se obtuvo a través de la recolección de 5 sub muestras en un orden sistemático de zigzag, iniciando a 50 cm de los bordes de cada lado del terreno.

Se realizó en primer lugar la limpieza de 3 cm de espesor de la superficie, para eliminar hierbas o malezas, luego con una palana se hizo un corte en forma de “V” de aproximadamente 25 cm de profundidad, cada sub-muestra extraída se colocó en un balde, al finalizar se realizó el secado y mezcla homogénea de las sub muestras recolectadas, obteniéndose una muestra de aproximadamente de 1 kg, la cual fue almacenada dentro de una bolsa, se etiquetó correctamente y fue enviada al laboratorio para su respectivo análisis.

3.3.1.2. Unidad de Análisis

La unidad de análisis corresponde al suelo con las especies utilizadas en el estudio, maíz (*Zea mays* L.), taya o tara (*Tara spinosa* Kuntze) y trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) en asociación con rye grass (*Lolium multiflorum* Lam.)

3.3.1.3. Unidad de Observación

Como unidad de análisis se evaluó:

A. Crecimiento de cultivos sembrados, estas especies fueron:

- a) Maíz amarillo duro (*Zea mays* L.),
- b) Taya (*Tara spinosa* Kuntze),
- c) Trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) en asociación con rey Grass (*Lolium multiflorum* Lam.).

Se llevó una evaluación visual en cuanto al crecimiento longitudinal de cada especie, de igual manera el crecimiento radicular, para lo cual se tomaron medidas de la longitud del tallo y longitud de raíz de cada una de las especies sembradas.

El tiempo de evaluación se realizó de manera mensual, evidenciándose el buen desarrollo de las plantas de maíz, taya y la asociación de rye grass y trébol rojo. Con lo cual se pudo apreciar la resistencia de las especies a los componentes del suelo con material de desmonte sobre el cual fueron sembradas.

B. El mejoramiento del suelo,

- a) Presencia de metales.
- b) Porcentaje de materia orgánica.

Esta evaluación se realizó luego de realizar el segundo análisis de suelo, tomando una muestra posterior a la siembra, y según el análisis de laboratorio se apreciaron los resultados de disminución de metales pesados.

3.3.2. Tipo y descripción de la investigación

La investigación tuvo corte cuasi-experimental (No distribución al Azar)-descriptiva, caracterizada por análisis de las muestras de suelo del área de estudio.

3.3.3. Diseño de investigación.

Se utilizó el diseño estadístico descriptivo - longitudinal, considerando las tres parcelas por cada especie y realizando una evaluación del suelo en pre y post cosecha, para determinar la cantidad de metales pesados encontrados en la etapa inicial, es decir antes de la siembra, y final, luego de realizada la siembra.

Parcela 1. Maíz amarillo duro (<i>Zea mays</i> L.)				Parcela 2. Taya (<i>Tara spinosa</i> Kuntze)				Parcela 3. Trébol rojo (<i>Trifolium pratense</i> L.) y rye grass (<i>Lolium multiflorum</i> Lam.)			

Figura 3. Distribución de parcelas de evaluación

3.3.3.1. Características del campo experimental

1) Característica de las parcelas.

Largo.....15.00 m

Ancho.....4.00 m

Área.....60 m²

Número de parcelas.....3

2) Características de la siembra

Número de hileras por parcela.....3

Cantidad de semilla (maíz).....25kg/ha
Número de plántones de taya.....1200/ha
Cantidad de semilla (rye grass)4kg/ha.
Cantidad de semilla (trébol rojo)5kg/ha.

3.3.4. Estudio de gabinete

En la etapa inicial se geo-referenció las áreas utilizadas como desmontera por los pobladores de la ciudad de Cajabamba, para lo cual se generó planos del área. Se eligió esta área por ser una zona de cultivo y con el desmonte acumulado se ha perdido terreno de siembra y se quiere recuperar este terreno para que el propietario pueda cultivar nuevamente.

3.3.5. Características de la zona

El área utilizada como desmontera cuenta hasta la fecha con 180 m², esta es de fácil ingreso, desde la vía San Marcos – Cajabamba.

3.3.6. Toma de muestras

Se tomaron 2 muestras del suelo donde se realizó el estudio, la primera de ellas se tomó antes de realizar la siembra, muestra inicial, para tener los valores iniciales de metales pesados encontrados.

La segunda muestra se tomó al finalizar la siembra, para determinar los valores de los metales pesados presentes y sus concentraciones, después de realizada la siembra, esta muestra fue evaluada según la especie que se sembró.

En el cultivo de maíz se tomó la muestra después de 5 meses de haberse sembrado.

En el cultivo de pastos se evaluó luego de 5 meses de haberse sembrado, sacrificando las plantas para poder obtener la muestra de suelo. Ya que los pastos son de corte y de esa manera se mantiene el cultivo.

De la misma manera en el cultivo de taya se sacrificaron las plantas para poder obtener las muestras de suelo.

Las muestras fueron procesadas en un laboratorio certificado. La toma de muestras se realizó según procedimiento de laboratorio, considerando una profundidad de 50 cm en cada muestra tomada según el cultivo.

3.3.7. Análisis de laboratorio.

Se realizó una caracterización físico-química del suelo para determinar los niveles de metales pesados presentes en el suelo y evaluar la absorción de los mismos por las especies a utilizar en la fitorremediación.

Con el análisis de suelo hemos determinado el pH, concentración de materia orgánica que presenta el suelo donde se realizó la fitorremediación, así como, el análisis textural de dichos suelos.

3.3.7.1. Métodos utilizados en el Análisis de suelo.

- Análisis Mecánico: Textura por el Método de Hidrogeno.
- Conductividad Eléctrica: CE Lectura de extracto de relación suelo agua 1:1 y extracto de la pasta saturada.
- Método de potenciómetro, relación suelo-agua 1:1 y en la pasta saturada.
- Calcáreo total: Método gaso – volumétrico.
- Materia orgánica: Método de Walkley y Black % M.O. = % C x 1,724.
- Nitrógeno total: Método Micro Kjeldahl.
- Fósforo: Método de Olsen Modificado, Extracto, NaHCO₃ 0.5M, pH =8.5.
- Potasio disponible: Extracto acetato de amonio 1N, pH 7,0.
- Capacidad de intercambio catiónico: Acetato de Amonio 1N pH 7,0.
- Cambiables: Determinaciones en extracto amónico.

- Determinación de metales:
 - a) Ca²⁺ : Espectrofotometría en extracto amónico.
 - b) Mg²⁺ : Espectrofotometría en extracto amónico.
 - c) K⁺ : Espectrofotometría en extracto amónico.
 - d) Na⁺ : Espectrofotometría en extracto amónico
- Metales: Método de absorción atómica.

3.3.8. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La recolección de datos fue procedente de los análisis físicos químicos extraídos de las parcelas y muestras que se realizaron en el presente trabajo de investigación, los análisis se realizaron en el Laboratorio de suelos de la UNALM debidamente acreditado.

Tabla 1

Fuentes, técnicas e instrumentos para la recolección de datos

RECOLECCIÓN DE DATOS		
FUENTE DE DATOS	TÉCNICA	INSTRUMENTO
Los suelos del área de estudio – Cajabamba	Observación Directa	Análisis de suelos.

3.3.9. Técnicas de procesamiento y análisis de los datos

Se ha considerado realizar el Análisis Descriptivo teniendo como base al análisis del laboratorio de la Universidad Agraria de la Molina, según decreto Supremo Estándares de calidad Ambiental ECA para Suelo, parámetros inorgánicos de uso de suelo Agrícola. DS011-2017 del MINAM.

Finalizado el análisis de los datos obtenidos de las parcelas estudiadas, se realizó el trabajo de investigación comparando los resultados obtenidos antes de realizar la siembra (pre cosecha) y luego de la siembra (pos cosecha), con los de la norma del Ministerio del Ambiente DS 011-2017 MINAM.

Tabla 2
Parámetros del uso de suelo

N° PARÁMETROS	Usos del Suelo			
	Suelo Agrícola	Suelo Residencial Parques	Suelo Comercial/Industrial Extractivos	
II Inorgánicos				
1	Cadmio Total (mg/kg MS)	1,4	10	22
2	Cromo Total (mg/kg MS)	0,4	0,4	1,4
3	Plomo Total (mg/kg MS)	70	140	1200

Fuente: DS 011-2017 MINAM

3.3.9.1. Parámetros utilizados para la interpretación

Para la descripción de los parámetros se consideró los mismo que el laboratorio especifica en los resultados obtenidos luego del procesamiento de las muestras, los cuales se muestran a continuación.

Tabla 3
Interpretación de equivalentes de C.E (sales según respuesta de los cultivos dS/m)

C.E. (Sales)	
Según respuesta de los cultivos	(dS/m)
Muy ligeramente Salino	< 2
Ligeramente Salino	2 - 4
Moderadamente Salino	4 - 8
Fuertemente Salino	8 - 16
Extremadamente Salino	> 16

Fuente: Laboratorio de Suelo de la Facultad de Agronomía de la UMALM (2017)

Tabla 4
Interpretación de equivalentes alcalinos

Clase	Materia Orgánica	Calcárea Total CaCO3%	Fósforo P(ppm)	Potasio K (ppm)
Bajo	< 2%	< 1%	< 7	< 100
Medio	2 - 4%	1 - 5%	7 - 14.	100 - 240
Alto	> 4%	> 5%	> 14	> 240

Fuente: Laboratorio de Suelo de la Facultad de Agronomía de la UMALM (2017)

Tabla 5
Interpretación de equivalentes-reacción del suelo

Reacción del Suelo pH	
5,1-5,5	Fuertemente Ácido.
5,6-6,0	Moderadamente Ácido.
6,1-6,5	Ligeramente Ácido.
6,6-7,3	Neutro.
7,4-7,8	Ligeramente Alcalino.
7,9-8,4	Moderadamente Alcalino.

Fuente: Laboratorio de Suelo de la Facultad de Agronomía de la UMALM (2017)

Tabla 6
Interpretación de equivalentes de CIC Efectiva

mEq/100g	CIC Efectiva
< 5	Muy bajo
5 - 10	Bajo
10 - 15	Medio
15 - 20	Alto
> 20	Muy alto

Fuente: Laboratorio de Suelo de la Facultad de Agronomía de la UMALM (2017)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de caracterización de suelos

Se realizó dos análisis de caracterización de suelos el primero se realizó antes de realizar la siembra (pre cosecha) y el segundo al final de la investigación (pos cosecha), fueron realizados en el laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, cuyos resultados se muestran en las Tablas 7 y 8.

Tabla 7

Resultados iniciales (pre cosecha) de caracterización de suelos

Número de muestra		CE	Análisis Mecánico				pH	M.O
Lab.	Campo	dS / m	Aren	Lim	Arcill	Textur	Relació	%
		Relación 1:1	a %	o %	a %	a	n 1:1	
UNAL M	M1	0,29	66,9 2	15,6 4	17,44	Franco	8,28	2,32
	Profundidad. 50 cm.					arenoso		

P	K	CaCO ₃	Cationes Cambiables					
Ppm	ppm	%	CIC total	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na [*]	K ⁻	Al ⁺³ +H ⁺¹
7,99	134,60	70,75	10,91	10,06	0,53	0,06	0,26	-

Fuente: Laboratorio de Suelo de la Facultad de Agronomía de la UMALM (2017)

De los resultados iniciales se analiza que la textura del suelo es franco arenoso, el cual según los cultivos seleccionados para la investigación no es restrictivo para su desarrollo y permitió continuar con la investigación, así mismo se observa que la materia orgánica

es 2,32%, con una clase media, el fósforo (P) es el 7,99% con una clase media, el potasio (K) 134,60 con una clase media, la composición calcárea de 70,75% con una clase alta el pH del suelo es 8,28 el cual es moderadamente alcalino y finalmente con un conductividad eléctrica con 0,28 dS/m muy ligeramente salino.

Tabla 8
Resultados finales de caracterización del suelo

Número de muestra		CE	Análisis Mecánico				pH	M.O.
Lab.	Campo	dS/ m	Arena	Limo	Arcilla	Textura	Relación 1:1	%
UNALM	SUELO	Relación 1:1	%	%	%			
13604	SUELO	0,63	67,98	18,02	14,00	Franco arenoso	7,75	2,73

P	K	CaCO ₃	Cationes Cambiables					
ppm	ppm	%	CIC total	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na [*]	K ⁻	Al ⁺³ +H ⁺¹
						Cmol (+) / Kg		
38,35	342,00	2,01	6,70	5,46	0,51	0,09	0,66	-

Fuente: Laboratorio de Suelo de la Facultad de Agronomía de la UMALM (2018)

De los resultados finales se concluye que la textura del suelo es Franco Arenoso, el cual permitió el desarrollo de las especies vegetativas seleccionadas para el estudio, así mismo se observa que la materia orgánica final es de 2,73%, con una clase media, el fósforo (P) es el 38,35% con una clase alta, el potasio (K) 342 con una clase alta, la composición calcárea finalizó en 2,00% con una clase Media el pH del suelo es 7,75 el cual es Ligeramente Alcalino y finalmente con un Conductividad Eléctrica con 0,68 dS/m ligeramente salino.

Realizando las comparaciones de los resultados de los análisis de caracterización tanto inicial (Tabla 7) como final (Tabla 8) se puede indicar que la capacidad de intercambio catiónico total disminuyó de un valor de 10,91 (medio) a 6,70 (bajo) como se muestra en la Figura 4.

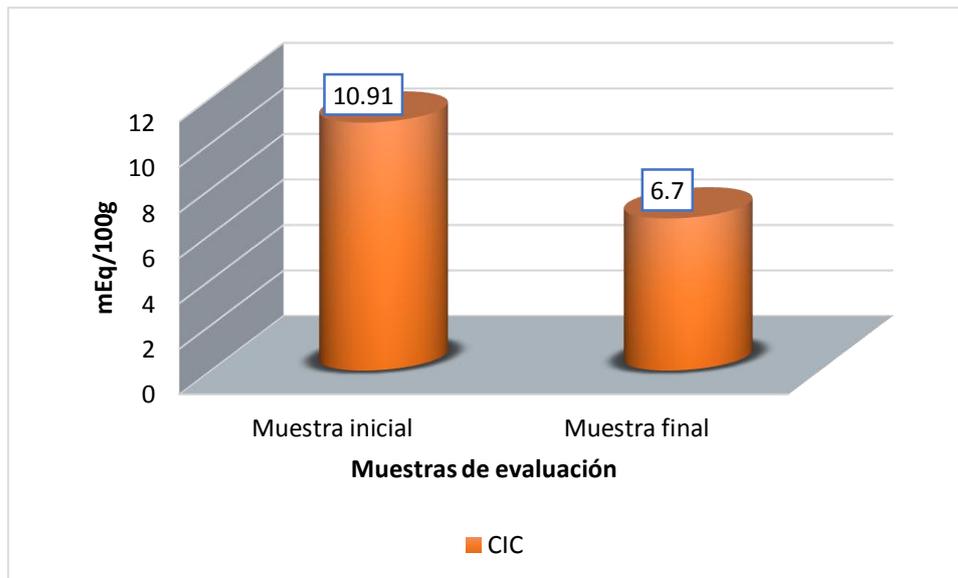


Figura 4. Variación de CIC total en el área de estudio

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) afecta la biodisponibilidad de metales en el suelo y depende del contenido de materia orgánica y arcillas del suelo. La toxicidad de los metales en suelos con alta CIC es baja, mientras que en suelos con baja CIC, la toxicidad aumenta Roane y Pepper (2000), de lo que se puede llegar a deducir que el suelo en estudio presenta una toxicidad media con tendencia a alta si no se da una fitorremediación adecuada, además de la incorporación de materia orgánica. Por otro parte a un pH ácido, la biodisponibilidad del metal aumenta debido a formas iónicas libres, pero a pH básico, la biodisponibilidad disminuye debido a la formación de minerales de fosfatos y carbonatos insolubles (Rajendran et al., 2003).

Por otro lado, el pH disminuyó de un valor de 8,28 (moderadamente alcalino) a 7,75 (ligeramente alcalino) como se muestra en la Figura 5.

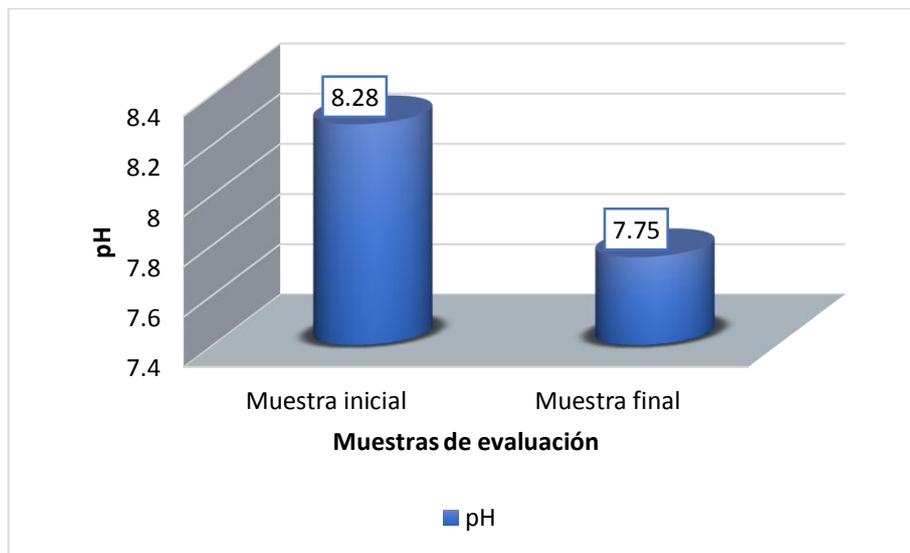


Figura 5. Variación del pH en el área de estudio

La materia orgánica al complejar metales, produce un descenso de pH al liberar H^+ Doner, Traina y Pukite (1982). Al acidificar el suelo se pueden movilizar metales y provocar que una parte de los mismos pase a forma soluble Németh et al (1996) lo que puede suponer un riesgo de contaminación al aumentar su biodisponibilidad.

Además, se muestra que el contenido de materia orgánica del suelo aumentó de 2,32 a 2,73, aunque perteneciendo a la clase media como se puede observar en la Figura 6.

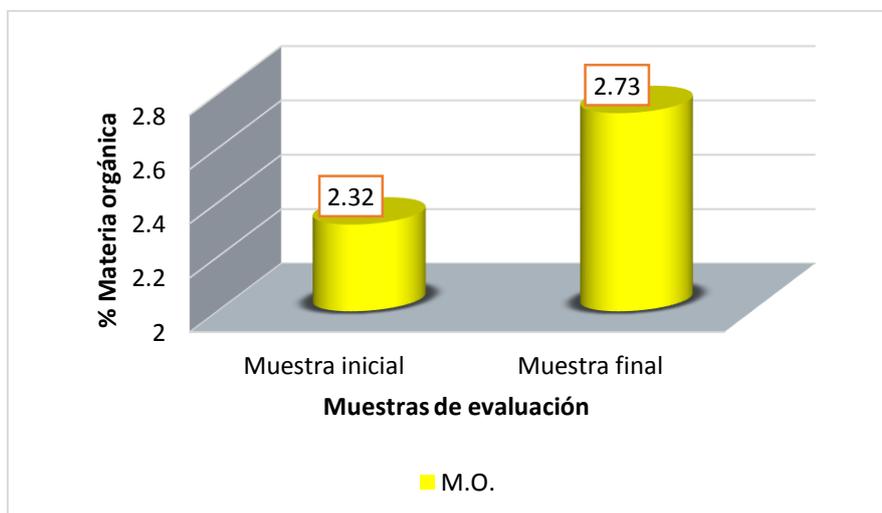


Figura 6. Variación de la MO en el área de estudio

El destino de los metales pesados en el suelo se debe principalmente de la forma química del metal, pero también de las condiciones ambientales y edáficas como el pH, potencial redox y contenido de materia orgánica (Rajendran et al 2003).

4.2. Metales pesados en el suelo

La norma indica que los valores máximos de acuerdo a los parámetros inorgánicos para los suelos según DS N° 011-2017, son para plomo (Pb) un valor máximo de 70 mg/kg, cadmio (Cd) indica un valor máximo de 1,4 mg/kg, y cromo (Cr) un valor máximo de 0,4 mg/kg, cuyos factores inciden en la salud pública y la calidad ambiental, los cuales son evaluados de manera periódica que permiten tomar medidas correctivas si se exceden los valores establecidos.

4.2.1. Análisis de los metales pesados

Los análisis de metales pesados se realizaron al inicio de la investigación y final de la misma, los cuales se realizaron en el laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, cuyos resultados se muestran en la Tabla 9, 10, 11 y 12.

Tabla 9
Resultados iniciales de la evaluación de metales pesados

Número de muestra		Pb	Cd	Cr
Lab.	Campo	(ppm)	(ppm)	(ppm)
13200	Muestra 2 Prof. 50 cm.	<0,25	<0,5	<0,325

Fuente: Laboratorio de Suelo de la Facultad de Agronomía de la UMALM (2017)

Al inicio del proyecto de investigación se tomaron muestras de suelo, obteniéndose una concentración de plomo de <0,25 (mg/kg), el mismo que fue comparado con el parámetro de plomo (Pb) cuyo valor fue de (70 mg/kg) como establece la norma, el cual está por debajo de lo establecido por la norma (Figura 7).

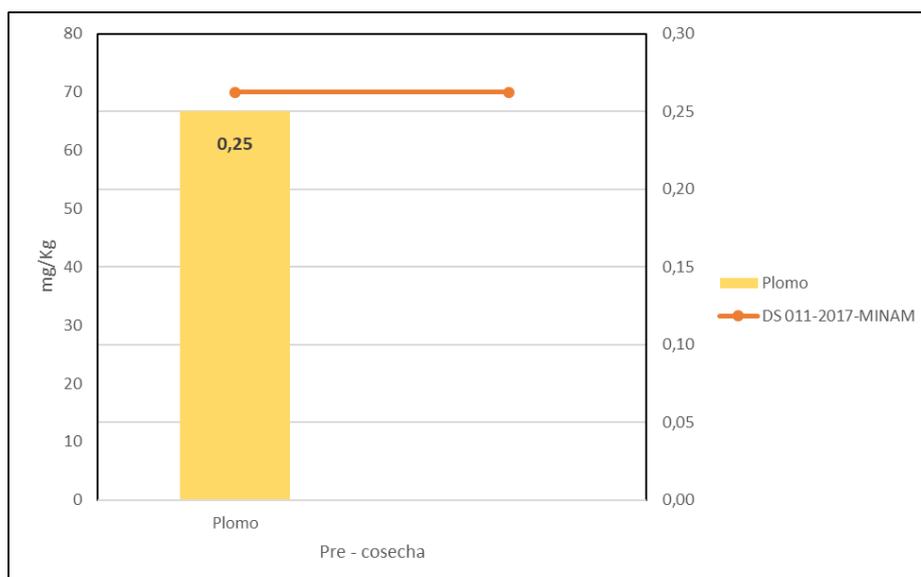


Figura 7. Valores de plomo (Pb) muestra inicial <0,25 mg/Kg.

El valor inicial de cadmio fue de $<0,5$ mg/kg, los cuales están por debajo de lo establecido por la norma, que es 1,4 mg/kg (Figura 8).

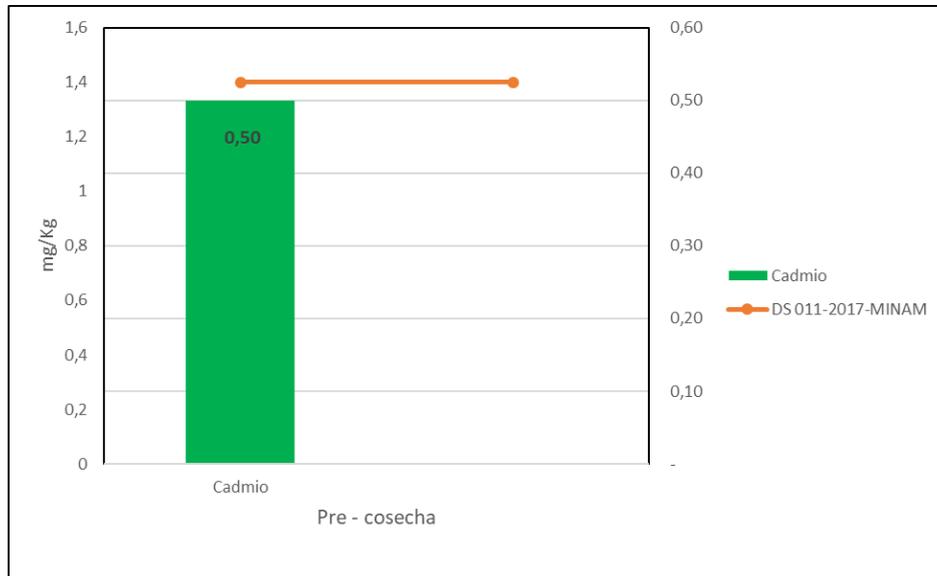


Figura 8. Valores de cadmio (Cd) muestra inicial $<0,5$ mg/kg

Para el cromo el valor inicial es de $<0,325$ (mg/kg), los cuales están por debajo de lo establecido por la norma, que establece 0,4 mg/kg (Figura 9).

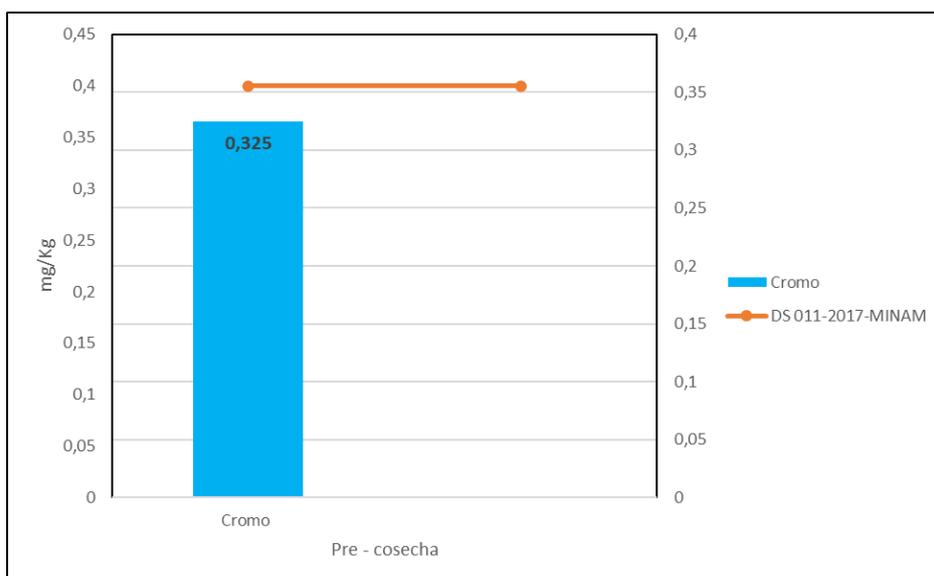


Figura 9. Valores de cromo (Cr) muestra inicial 0,325 mg/kg

La etapa final se tomó una muestra de suelo para el análisis de caracterización del suelo, como se mencionó al inicio del proyecto es un área de 180 metros cuadrados.

Tabla 10

Resultados finales de los metales pesados encontrados en la parcela de maíz

Número de muestra		Pb (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)
Lab.	Campo			
13601	Maíz	<0,05	<0,1	0,232

Fuente: Laboratorio de Suelo de la Facultad de Agronomía de la UMALM (2018)

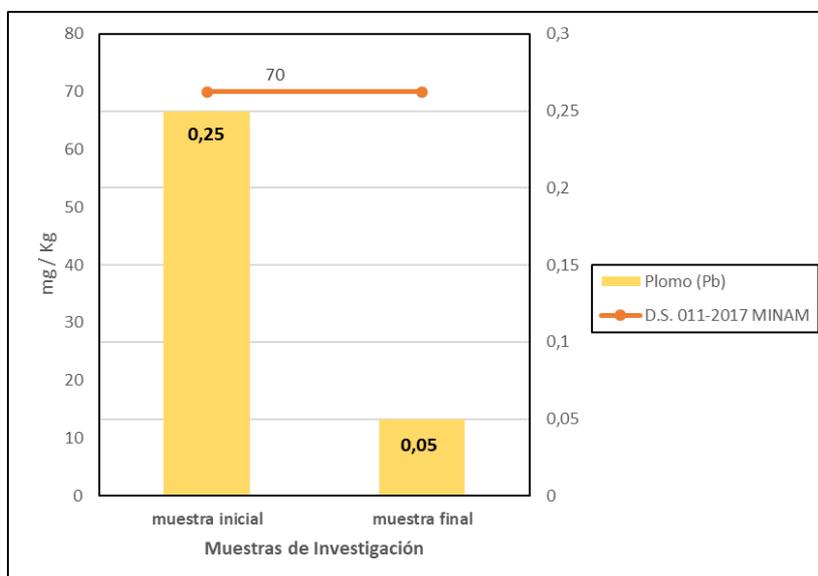


Figura 10. Valores de plomo (Pb) en maíz (Zea mays L.)

En la Figura 10 se observa para el caso del maíz (*Zea mays* L.) en la evaluación del parámetro de plomo los resultados iniciales en el suelo fueron de (<0,25) mg/kg y luego del proceso de investigación los valores de plomo (Pb) en el suelo fueron de (< 0,05) mg/kg, lo cual evidencia que se disminuyó en un 80,00% el parámetro de plomo, lo cual evidencia que es tolerante a este metal y lo usa para su desarrollo.

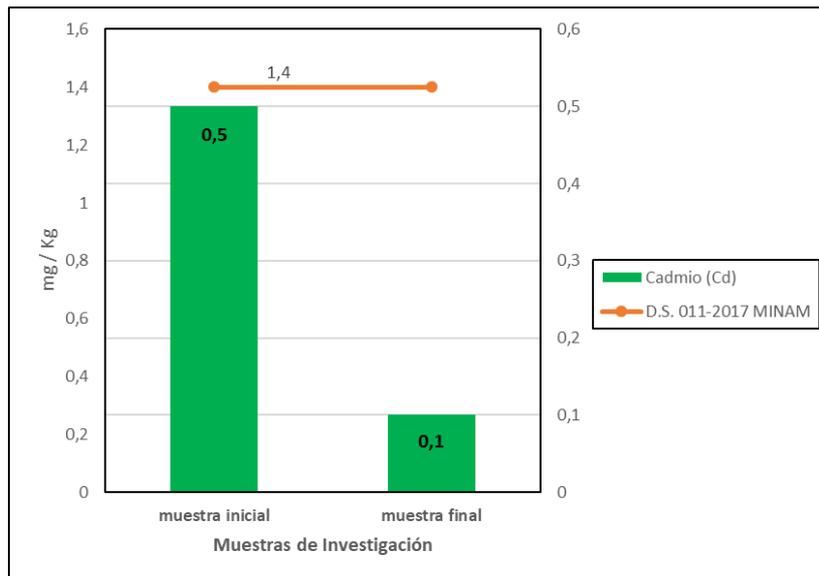


Figura 11. Valores de cadmio (Cd) en maíz (*Zea mays* L.) muestra inicial y muestra final

En la Figura 11 se observa que para el caso del Maíz (*Zea mays* L.) en la evaluación del parámetro de cadmio los resultados iniciales en el suelo fueron de ($<0,50$) mg/kg y luego del proceso de investigación los valores de cadmio (Cd) en el suelo fueron de ($<0,10$) mg/kg, lo cual evidencia que se disminuyó en un 80,00% el parámetro de cadmio, lo cual evidencia que es tolerante a este metal y lo usa para su desarrollo.

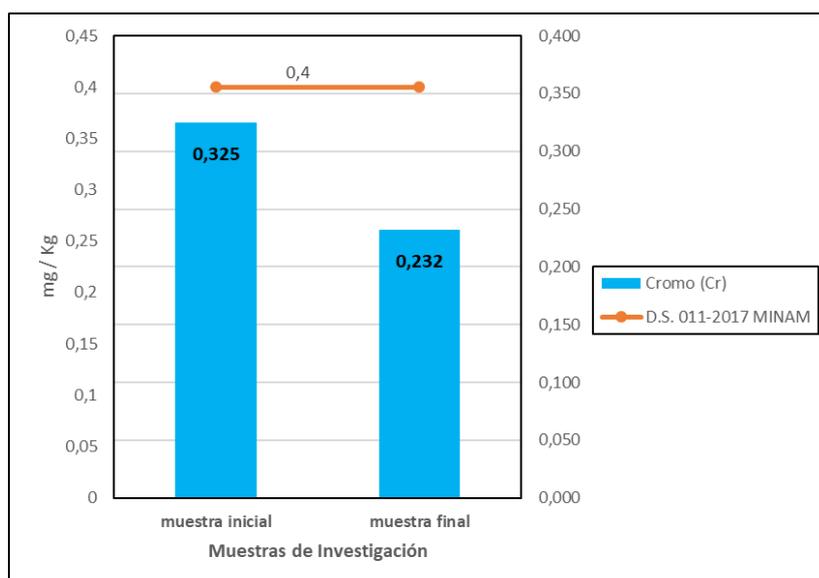


Figura 12. Valores de cromo (Cr) en maíz (*Zea mays* L.)

En la Figura 12 se observa que para el caso del maíz (*Zea mays* L.) en la evaluación del parámetro de cromo (Cr) los resultados iniciales en el suelo fueron de (<0,325) mg/kg y luego del proceso de investigación los valores de cromo (Cr⁺⁶) en el suelo fueron de (<0,232) mg/kg, lo cual evidencia que se disminuyó en un 28,62% el parámetro de cromo (Cr⁺⁶), lo cual evidencia que es tolerante a este metal y lo usa para su desarrollo.

Tabla 11

Resultados finales de los metales pesados encontrados en la parcela de taya

Número de muestra		Pb (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)
Lab.	Campo			
13603	Taya	<0,1	<0,005	<0,05

Fuente: Laboratorio de Suelo de la Facultad de Agronomía de la UMALM (2018)

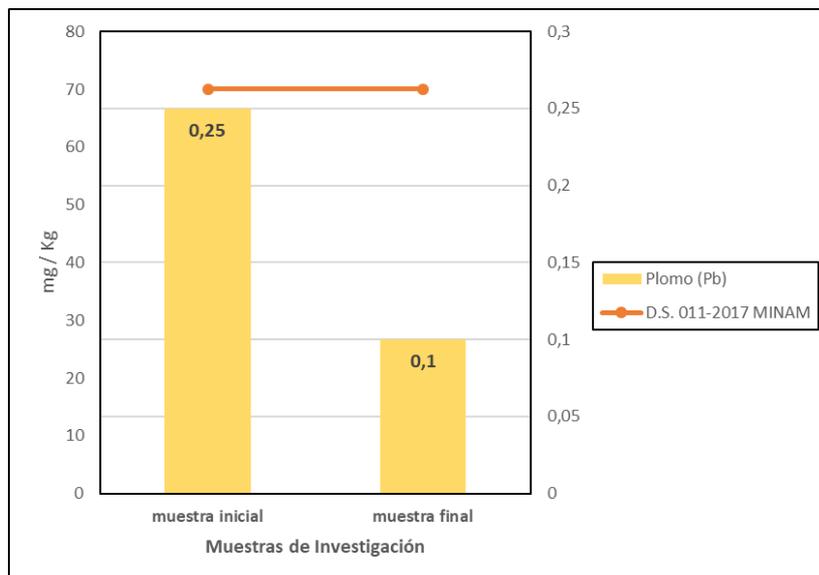


Figura 13. Valores de plomo (Pb) en taya o tara

En la Figura 13 se observa que para el caso de la taya o tara (*Tara spinosa* Kuntze) en la evaluación del parámetro de plomo (Pb) los resultados iniciales en el suelo fueron de (<0,25) mg/kg y luego del proceso de investigación los valores de plomo (Pb) en el

suelo fueron de ($< 0,1$) mg/kg, lo cual evidencia que se disminuyó en un 60,00% el parámetro de plomo (Pb), lo cual evidencia que es tolerante a este metal y lo usa para su desarrollo.

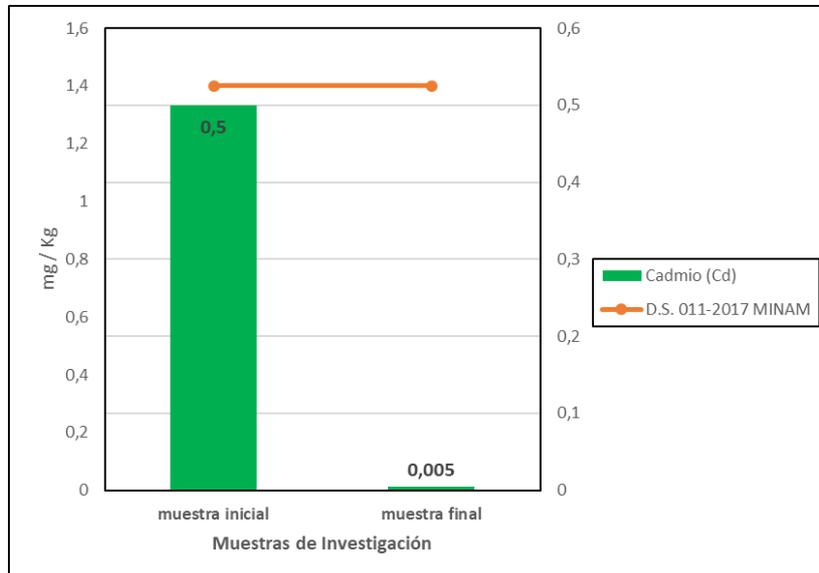


Figura 14. Valores de cadmio (Cd) en taya o tara.

En la Figura 14 se observa que para el caso de la Taya o Tara (*Tara spinosa* Kuntze) en la evaluación del parámetro de cadmio (Cd) los resultados iniciales en el suelo fueron de ($<0,50$) mg/kg y luego del proceso de investigación los valores de cadmio (Cd) en el suelo fueron de ($<0,005$) mg/kg, lo cual evidencia que se disminuyó en un 99,00% el parámetro de cadmio (Cd), lo cual evidencia que es tolerante a este metal y lo usa para su desarrollo.

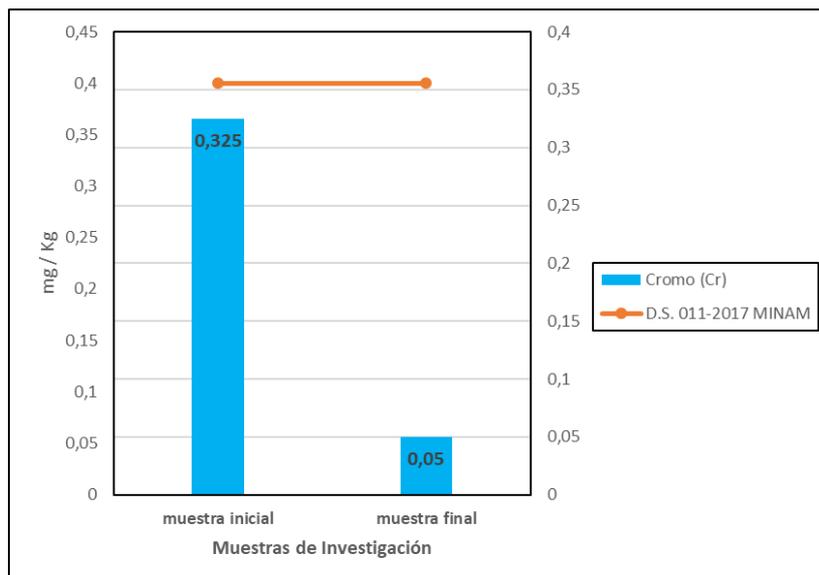


Figura 15. Valores de cromo (Cr) en taya o tara.

En la Figura 15 se observa que para el caso de la taya o tara (*Tara spinosa* Kuntze) en la evaluación del parámetro de cromo (Cr^{+6}) los resultados iniciales en el suelo fueron de ($<0,325$) mg/kg y luego del proceso de investigación los valores de cromo (Cr^{+6}) en el suelo fueron de ($< 0,05$) mg/kg, lo cual evidencia que se disminuyó en un 84,62% el parámetro de cromo (Cr^{+6}), lo cual evidencia que es tolerante a este metal y lo usa para su desarrollo.

Tabla 12

Resultados finales de los metales pesados encontrados en la parcela de trébol rojo en asociación con rye grass

Número de muestra		Pb (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)
Lab.	Campo			
13602	Rye grass más trébol rojo	$<0,05$	$<0,1$	$<0,05$

Fuente: Laboratorio de Suelo de la Facultad de Agronomía de la UMALM (2018)

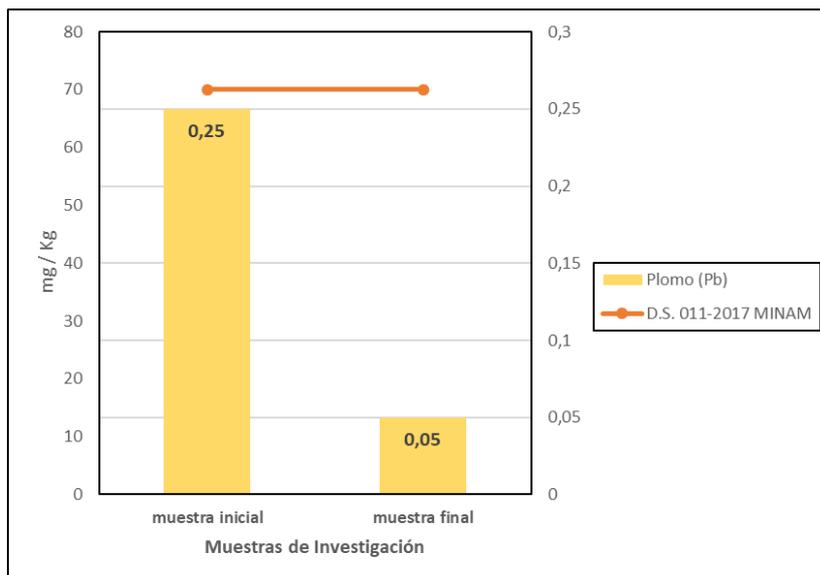


Figura 16. Valores de plomo (Pb) en rye grass y trébol rojo

En la Figura 16 se observa que para el caso de la asociación de rye grass (*Lolium multiflorum* Lam.) y Trébol Rojo (*Trifolium pratense* L.) en la evaluación del parámetro de plomo (Pb) los resultados iniciales en el suelo fueron de (<0,25) mg/kg y luego del proceso de investigación los valores de plomo (Pb) en el suelo fueron de (<0,05) mg/kg, lo cual evidencia que se disminuyó en un 80,00% el parámetro de plomo (Pb), lo cual evidencia que es tolerante a este metal y lo usa para su desarrollo.

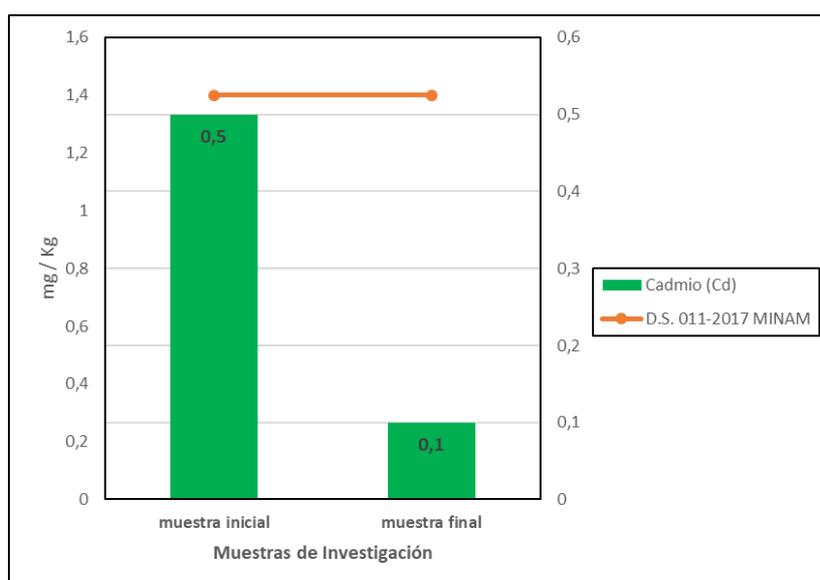


Figura 17. Valores de cadmio (Cd) en rye grass y trébol rojo

En la Figura 17 se observa que para el caso de la asociación de rye grass (*Lolium multiflorum* Lam.) y Trébol Rojo (*Trifolium pratense* L.) en la evaluación del parámetro de Cadmio (Cd) los resultados iniciales en el suelo fueron de ($<0,5$) mg/Kg y luego del proceso de investigación los valores de Cadmio (Cd) en el suelo fueron de ($< 0,10$) mg/Kg, lo cual evidencia que se disminuyó en un 80,00% el parámetro de cadmio (Cd), lo cual evidencia que es tolerante a este metal y lo usa para su desarrollo.

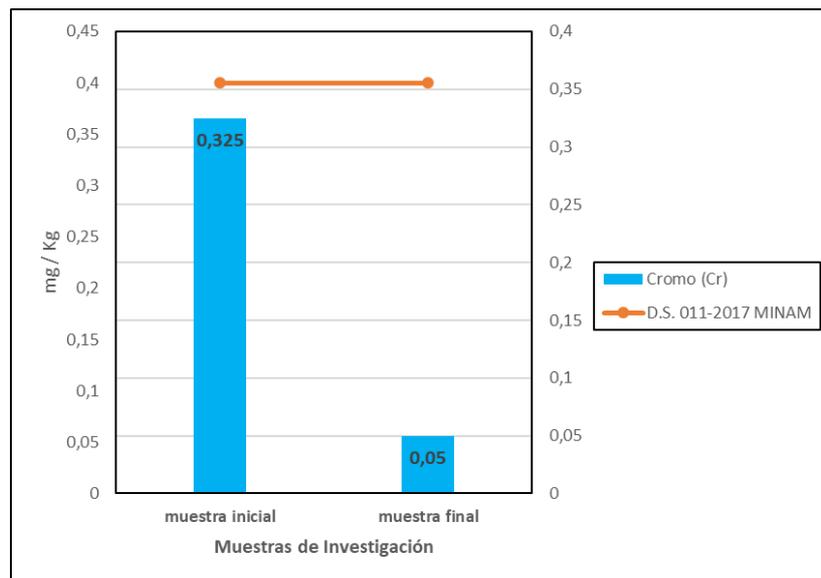


Figura 18. Valores de cromo (Cr) en rye grass y trébol rojo

En la Figura 18 se observa que para el caso de la asociación de rye grass (*Lolium multiflorum* Lam.) y Trébol Rojo (*Trifolium pratense* L.) en la evaluación del parámetro de cromo (Cr) los resultados iniciales en el suelo fueron de ($<0,325$) mg/kg y luego del proceso de investigación los valores de cromo (Cr) en el suelo fueron de ($< 0,05$) mg/kg, lo cual evidencia que se disminuyó en un 84,62% el parámetro de cromo (Cr), lo cual evidencia que es tolerante a este metal y lo usa para su desarrollo.

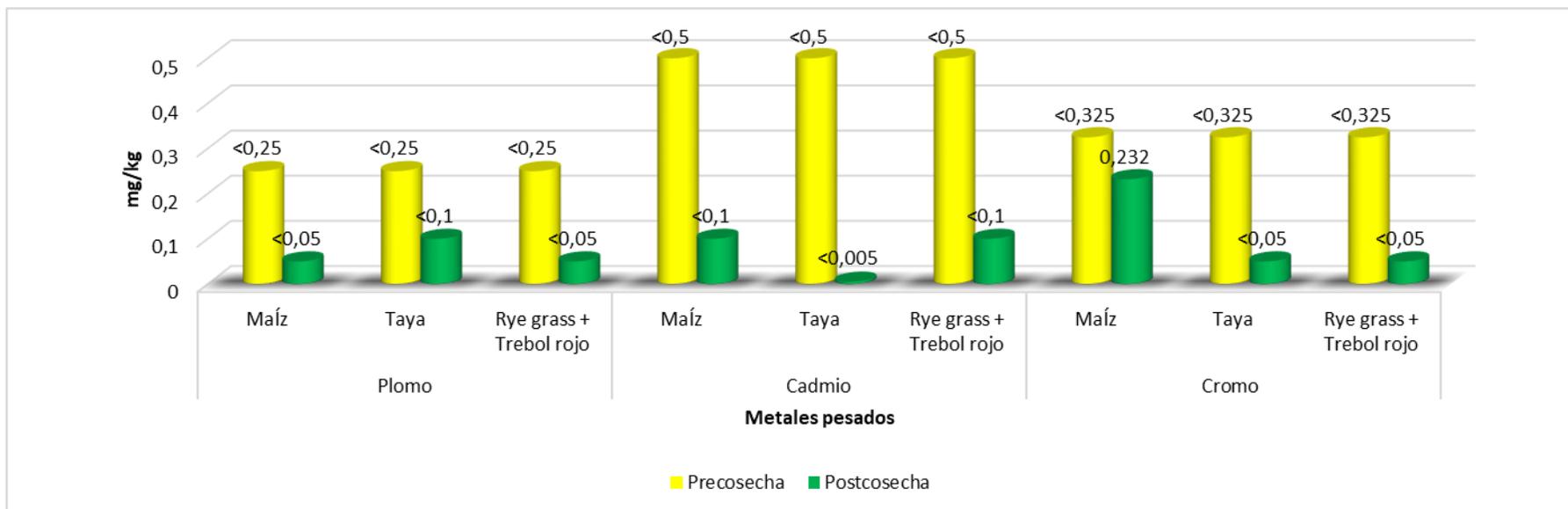


Figura 19. Comparación de la absorción de metales por especie

La Figura 19 muestra un resumen de los resultados de las muestras iniciales y finales por metal y cultivo instalado así tenemos para el plomo del suelo se obtuvo mejores resultados con maíz (*Zea mays* L.) y la asociación de rye grass (*Lolium multiflorum* Lam) y trébol rojo (*Trifolium prantense* L.) que lograron disminuir de <0,25 mg/kg a <0,05 mg/kg lo que equivale al 80%, seguido del cultivo de taya (*Tara spinosa* Kuntze) que logro disminuir de <0,25 mg/kg a <0,1 mg/kg que equivale a un 60%.

Para cadmio se obtuvo mejores resultados con el cultivo de taya (*Tara spinosa* Kuntze) que logro disminuir de <0,5 mg/kg a <0,005 mg/kg que equivale a un 99%. seguido del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) y la asociación de rye grass (*Lolium multiflorum* Lam) y trébol rojo (*Trifolium prantense* L.) que lograron disminuir de <0,5 mg/kg a <0,1 mg/kg lo que equivale al 80%.

Para cromo se obtuvo mejores resultados con el cultivo de taya (*Tara spinosa* Kuntze) y la asociación de rye grass (*Lolium multiflorum* Lam) y trébol rojo (*Trifolium prantense* L.), que lograron disminuir de <0,325 mg/kg a <0,05 mg/kg lo que equivale al 84,62%. seguido del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) que logro disminuir de <0,325 mg/kg a 0,232 mg/kg que equivale a un 28,62%.

4.3. Contrastación de hipótesis

4.3.1. Análisis estadístico de los resultados.

Para comprobar la disminución de metales pesados en el suelo a través de la fitorremediación con especies vegetales de la zona se utilizó la prueba de T para muestras independientes.

4.3.1.1. Hipótesis

H₀: $(\overline{X1} = \overline{X2})$. No existe diferencia entre las medias de la evaluación de pre y post-cosecha.

H_a: $(\overline{X1} \neq \overline{X2})$. Las medias de la evaluación de pre y post-cosecha son diferentes, debido a la fitorremediación.

Alfa ($\alpha=0.05$): Nivel de significancia 0,05. Indica un riesgo de 5% de concluir que existe una diferencia cuando no hay una diferencia real.

Fitorremediación para plomo

Tabla 13
Procedimiento T-TEST para analizar el elemento de plomo

Variable	TRT	N	Inferior CL Media	Media	Superior CL Media	Inferior CL Desviación Estándar	Desviación Estándar	Superior CL Desviación Estándar	Error Estándar	Mínimo	Máximo
CCP	Pos	3	0.25	0.25	0.25	.	0	.	0	0.25	0.25
CCP	Pre	3	-0.005	0.0667	0.1384	0.015	0.0289	0.1814	0.0167	0.05	0.1
CCP	Diff (1-2)		0.1371	0.1833	0.2296	0.0122	0.0204	0.0587	0.0167		

Tabla 14
T-Test para el elemento plomo

Variable	Método	Varianzas	DF	Valor t	Pr > t
CCP	Pooled	Igual	4	11.00	0.0004
CCP	Satterthwaite	Desigual	2	11.00	0.0082
CCP	Cochran	Desigual	2	11.00	0.0082

Tabla 15
Análisis de varianzas para el elemento plomo

Igualdad de Varianza					
Variable	Método	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
CCP	Folded F	2	2	Infin	<.0001

De la Tabla 15 podemos deducir que las muestras tienen variancias heterogéneas, por lo que revisamos la Tabla 14 y tomamos cualquiera de las dos opciones (unequal), donde nos informa que existe una alta diferencia estadística entre las medias de pre y post-cosecha dado que el valor de $pr>t= 0,0082$ y es menor que el nivel de significancia (0,05), por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

Fitorremediación para cadmio

Tabla 16
Procedimiento T-TEST para analizar el elemento de cadmio

Variable	TRT	N	Inferior CL Media	Media	Superior CL Media	Inferior CL Desviación Estándar	Desviación. Estándar	Superior CL Desviación Estándar	Error Estándar	Mínimo	Máximo
CCCADMIO	POS	3	-0.068	0.0683	0.2046	0.0286	0.0548	0.3447	0.0317	0.005	0.1
CCCADMIO	PRE	3	0.5	0.5	0.5	.	0	.	0	0.5	0.5
CCCADMIO	Diff (1-2)		-0.52	-0.432	-0.344	0.0232	0.0388	0.1114	0.0317		

Tabla 17

T-Test para el elemento cadmio

Variable	Método	Varianzaas	DF	Valor t	Pr > t
CCCADMIO	Pooled	Igual	4	13.63	0.0002
CCCADMIO	Satterthwaite	Desigual	2	13.63	0.0053
CCCADMIO	Cochran	Desigual	2	13.63	0.0053

Tabla 18

Análisis de varianzas para el elemento cadmio

Igualdad de Varianza					
Variable	Método	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F
CCCADMIO	Folded F	2	2	Infin	<.0001

De la Tabla 18 podemos deducir que las muestras tienen variancias heterogéneas, por lo que revisamos la Tabla 17 y tomamos cualquiera de las dos opciones (unequal), donde nos informa que existe una alta diferencia estadística entre las medias de pre y post-cosecha dado que el valor de $pr>t=0,0053$ y es menor que el nivel de significancia (0,05). por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

Fitorremediación para cromo.

Tabla 19
Procedimiento T-TEST para analizar el elemento de cromo

Variable	TRT	N	Inferior CL Media	Media	Superior CL Media	Inferior CL Desviación Estándar	Desviación. Estándar	Superior CL Desviación Estándar	Error Estándar	Mínimo	Máximo
CCCROMO	POS	3	-0.15	0.1107	0.3717	0.0547	0.1051	0.6604	0.0607	0.05	0.232
CCCROMO	PRE	3	0.325	0.325	0.325	.	0	.	0	0.325	0.325
CCCROMO	Diff (1-2)		-0.383	-0.214	-0.046	0.0445	0.0743	0.2135	0.0607		

Tabla 20
T-Test para el elemento cromo

Variable	Método	Varianzas	DF	Valor t	Pr > t
CCCROMO	Pooled	Igual	4	3.53	0.0242
CCCROMO	Satterthwaite	Desigual	2	3.53	0.0716
CCCROMO	Cochran	Desigual	2	3.53	0.0716

Tabla 21
Análisis de varianzas para el elemento cromo

Igualdad de Varianza						
Variable	Método	Num DF	Den DF	F-Valor	Pr > F	
CCCROMO	Folded F	2	2	Infin	<.0001	

De la Tabla 21 podemos deducir que las muestras tienen variancias heterogéneas, por lo que revisamos la Tabla 20 y tomamos cualquiera de las dos opciones (unequal), donde nos informa que no existe diferencia estadísticamente significativa entre pre y post-cosecha dado que el valor $pr>t= 0,0716$ es mayor al nivel de significancia (0,05); por lo tanto, no se puede rechazar la hipótesis nula.

Es así que en base a los resultados de la investigación es necesario mencionar, que estos suelos son afectados por desmonte y no han tenido un tratamiento específico; además las especies vegetales de maíz (*Zea mays* L.), taya (*Tara spinosa* Kuntze) y rye grass (*Lolium multiflorum* Lam) en asociación con trébol rojo (*Trifolium prantense* L.), utilizadas cumplen con las condiciones edafoclimáticas de la zona de estudio.

Si bien las concentraciones de metales pesados encontrados en la etapa inicial de la investigación están por debajo de los estándares de calidad ambientales del suelo, ello no significa que un futuro no puede generar un impacto en los cultivos, los cuales son consumidos por la población de la zona y la ciudad de Cajabamba.

4.3.2. Análisis de fitorremediación por cultivo

De los resultados obtenidos de la investigación podemos decir que las plantas de maíz (*Zea mays* L.), taya (*Tara spinosa* Kuntze) y rye grass (*Lolium multiflorum* Lam) en asociación con trébol rojo (*Trifolium pratense* L.), absorben metales pesados en diferentes concentraciones como indicaron Baker (1981); Barceló y Poschenrieder (2003) todas las plantas absorben metales del suelo donde se encuentran, pero en distinto grado dependiendo de la especie vegetal y de las características y contenido de metales en el suelo.

En la parcela instalada el cultivo de maíz se observó que los elementos que más se redujeron en el suelo fueron Pb y Cd en 80,00% y en menor proporción Cr en un 28,62%. Coincidiendo con Grandez (2017), donde indica que el maíz brinda una buena remoción del metal pesado plomo, donde se obtuvo una reducción de 76,22 mg/kg a 50,50% mg/kg, utilizando enmiendas de compost y humus. Por su parte Munive et al (2018) concluyen que las enmiendas orgánicas: compost y vermicompost de Stevia contribuyen a la solubilización de los metales pesados (Pb y Cd) para una mejor absorción en las plantas de maíz, además en las raíces se presentan los mayores valores de extracción de plomo y cadmio, el maíz extrae mayor cantidad de plomo cuando el suelo presenta mayor contenido en el suelo, asimismo extraen mayor cantidad de cadmio cuando el suelo presenta menor contenido, influenciado además por características del suelo.

En la parcela instalada el cultivo de taya se observó que el elemento que más se redujo en el suelo fue el Cd en un 99,00%, seguidamente de plomo en un 96,00% y finalmente de Cr+6 con un 84,62% sustentando esto con la afirmación de Mentaberry (2011) donde indica que las leguminosas son especies vegetales recomendadas en los

procesos de fitorremediación. Por su parte Noguez, López, Carrillo y González (2017) mencionan que en fitoestabilización como en fitoextracción, el uso de leguminosas (Fabaceae) ha tenido resultados prometedores, dada su capacidad para tolerar EPT y, a su vez, fijar nitrógeno atmosférico. Lindström et al. (2003) indica que al ser las primeras colonizadoras de suelos pobres o degradados y con variedades adaptadas a diferentes entornos, las leguminosas prometen buenos resultados en fitorremediación.

En la parcela instalada con la asociación de los cultivos de rye grass (*Lolium multiflorum* Lam) y trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) se observó que el elemento que más se redujo en el suelo fue Cr+6 en 84,62% mientras que Pb y Cd en un 80,00%, estos resultados podemos afirmarlos mediante estudios que han determinado que el uso de leguminosas, tales como *Medicago sativa*, *Trifolium subterraneum* y *Lotus japonicum*, con agentes quelatantes como EDTA pueden aumentar la disponibilidad de EPT en un intento de utilizarlas en la fitoextracción. Sin embargo, los metales como As, Cu y Pb solo se absorben en raíz y no se traslocan a la parte aérea en plantas de *M. sativa* y *T. subterraneum* (Pajuelo et al., 2007).

Mengel y Kirkby (1978) para el caso de Cd y Cr, consideran que los contenidos en plantas normales pueden llegar hasta 1,5 mg/kg para Cd, y de 0,02 a 1,0 mg/kg para Cr, considerado como límite de fitotoxicidad el valor de 5,0 mg/kg.

Es necesario precisar según un estudio de Navarro et al. (2007) sobre aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y bioacumulación de metales pesados en plantas como el tabaco, papaya y coliflor que explica la causa primaria del elevado nivel de toxicidad a nivel químico es que los metales pesados poseen una gran capacidad para unirse con moléculas orgánicas.

Al respecto Delgadillo et al. (2011), afirma que los problemas de contaminación que existen actualmente requieren de tecnologías costo-efectivas, amigables y que puedan aplicarse a gran escala, tal es el caso de la fitorremediación.

Por su parte Cordero (2015) indica que la contaminación por metales pesados se debe manejar ya que estos elementos pueden quedar retenidos por procesos de adsorción, de precipitación, ser absorbidos por gramíneas como *Brachiaria Decumbens* y *Mombasa* para así incorporarse a las cadenas tróficas. También pueden pasar a la atmosfera por volatilización y moverse a las aguas superficiales y subterráneas; y causar impactos negativos en el medio ambiente, la salud humana y animal. En este sentido, los sistemas de producción agrícola constituyen una fuente importante no puntual de contaminantes tipo metales pesados, y a su vez facilita la acumulación de éstos en el suelo y/o la transferencia en la cadena suelo - planta – consumidor, principalmente en regiones donde estos procesos se realizan de manera intensiva y sin periodos de descanso ni rotación de cultivos (Kabata, 2004)

Por su parte Micó et al (2006) señalan que la evaluación regional del contenido de metales pesados en suelos agrícolas es determinante para la identificación de áreas con problemas de contaminación.

Luego de realizar el estudio de investigación, se determinó que no se puede atribuir la disminución de la concentración de metales solamente a la absorción por el sistema radicular de las plantas, ya que el recurso hídrico juega un rol importante; esto es afirmado por Mc Graths et al (2001) quienes indican que en general, los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes mecanismos:

- a. Quedan retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la fase acuosa del suelo, ocupando sitios de intercambio.

- b. Adsorbidos sobre constituyentes inorgánicos del suelo, asociados con la materia orgánica del suelo y/o precipitados como sólidos puros o mixtos.
- c. Pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas; pasan a la atmósfera por volatilización.
- d. Se movilizan a las aguas superficiales o subterráneas, la especie utilizada en el estudio fue el girasol *Helianthus annuus* L.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

1. Se identificó la presencia y concentración de metales pesados en el área de estudio como plomo (Pb) Cadmio (Cd) y Cromo (Cr) donde las concentraciones no superan los valores de ECA suelo agrícola, según muestra obtenida y procesada en Laboratorio de Suelo de la Facultad de Agronomía de la UMALM.
2. El efecto es positivo puesto que se logró disminuir la cantidad de concentración de metales pesados en el suelo, con los cultivos de maíz (*Zea mays* L.), taya (*Tara spinosa* Kuntze) y la asociación de trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) y rye grass (*Lolium multiflorum* Lam)
 - a) Para plomo se obtuvo mejores resultados con maíz (*Zea mays* L.) y la asociación de rye grass (*Lolium multiflorum* Lam) y trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) que lograron remover el 80%, seguido de taya (*Tara spinosa* Kuntze) con un 60%.
 - b) Para cadmio se obtuvo mejores resultados con la especie de taya (*Tara spinosa* Kuntze) con un 99%, seguido de maíz (*Zea mays* L.) y la asociación de rye grass (*Lolium multiflorum* Lam) y trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) que lograron remover un 80%.
 - c) Para Cromo se obtuvo mejores resultados con taya (*Tara spinosa* Kuntze) y la asociación de rye grass (*Lolium multiflorum* Lam) y trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) que lograron remover el 84,62%, seguido de maíz (*Zea mays* L.) con un 28,62%

3. La fitorremediación como alternativa de recuperación de suelos utilizados con Desmonte de construcción, es eficiente en base a la comparación de valores cuantitativos:
- a) En el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) la concentración de Plomo (Pb) disminuyó de ($<0,25$) mg/kg a ($<0,005$) lo cual representa una disminución del 80% del parámetro; la concentración de Cadmio (Cd) disminuyó de ($<0,5$) mg/kg a ($<0,10$) mg/kg lo cual representa una disminución del 80% del parámetro y la concentración de Cromo (Cr) disminuyó de ($<0,325$) mg/kg a ($0,232$) lo cual representa una disminución del 28,62% del parámetro.
 - b) En el cultivo de taya (*Tara spinosa* Kuntze), la concentración de Plomo (Pb) disminuyó de ($<0,25$) mg/kg a ($<0,1$) lo cual representa una disminución del 60% del parámetro; la concentración de Cadmio (Cd) disminuyó de ($<0,5$) mg/kg a ($<0,005$) mg/kg lo cual representa una disminución del 99 % del parámetro; y la concentración de Cromo (Cr) disminuyó de ($0,325$) mg/kg a ($<0,05$) lo cual representa una disminución del 84,62 % del parámetro.
 - c) En la asociación de rye grass (*Lolium multiflorum* Lam.) y trébol rojo (*Trifolium pratense* L.) la concentración de Plomo (Pb) disminuyó de ($<0,25$) mg/kg a ($<0,05$) lo cual representa una disminución del 80% del parámetro; la concentración de Cadmio (Cd) disminuyó de ($<0,5$) mg/kg a ($<0,10$) mg/kg lo cual representa una disminución del 80% del parámetro y la concentración de Cromo (Cr) disminuyó de ($<0,325$) mg/kg a ($<0,05$) lo cual representa una disminución del 84,62 % del parámetro.

CAPÍTULO VI

LISTA DE REFERENCIAS

- Abollino, O., Aceto, M., Malandrino, M., mentaste, E., Sarzanini, C. & Barberis, R. (2002). Distribución y movilidad de metales en sitios contaminados. Investigación química métrica de perfiles de contaminantes. *Contaminación ambiental*, 119. p.177.
- Adriano, D.C. (2001). Trace Elements in the Terrestrial Environments. Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals. *Springer*. New York. p. 867.
- Alloway, B.J. (1995). *Heavy Metals in Soils. Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*. doi:10.1007/978-94-007-4470-7
- Almeida, M. A. & Lima G. A., (2014). *Análisis de la capacidad y tolerancia que presentan las especies forestales introducidas cepillo rojo (Callistemon citrinus) y molle (Schinus areira) y las especies vegetales nativas guarango (mimosa quitensis) y chilca (Baccharis latifolia) en suelos contaminados con plomo y níquel en el parque zonal puertas del sol, distrito metropolitano de Quito, 2014* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Ecuador.
- Argota, G., Encinas, M., Argota, H. & Iannacone, J. (2014) Coeficientes biológicos de fitorremediación de suelos expuestos a plomo y cadmio utilizando *Alopecurus magellanicus bracteatus* y *Muhlenbergia angustata* (poaceae). *The biologist*. 12(1),99-108.
- Baker, A.J.M. (1981). Accumulation and excluders-strategies in the response of plants to heavy metals. *Journal of Plant Nutrition*. 3: 643-654.

- Baker, J. & Brooks, R. (1989). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements a review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery*. 81-126
- Banat, K. M., Howari, F. & Al-Hamad, A. A. (2005). Metales pesados en suelos urbanos del centro de Jordania: deberíamos preocuparnos por sus riesgos ambientales. *Environmental Research*, 97, 258-273.
- Barceló, J. & Poschenrieder, C. 2003. Phytoremediation: Principles and perspectives. *Contrib Sci*. 2: 333-344.
- Bayón, S. (2015). *La Fitorremediación a suelos contaminados por metales pesados*. (tesis de pregrado). Universidad Complutense. Madrid, España.
- Bonilla, S. M. (2013). *Estudio de tratamientos para Biorremediación de suelos contaminados con plomo, utilizando el método de fitorremediación* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito Campo Sur. Quito, Ecuador.
- Carpena, R.O. & Bernal, P.M. (2007). Claves de la fitorremediación: Fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Ecosistemas*. 16(2),1-3.
- Chico, R.J., Cerna, R.D., Rodríguez, E.M. & Guerrero, P.M. (2012). *Capacidad remediadora de la raíz de girasol, Helianthus annuus, cuando es sometida a diferentes concentraciones de plomo*. REBIOL. 32(2),13-19.
- Colpaert, J.V. (1998). *Biological Interactions: The significance of root-microbial symbioses for phytoremediation of metalcontaminated soils*. pp. 75-91. In: Vangronsveld, J. y S.D. Cunningham (eds.). Metal-contaminated soils: In situ activation and phytoremediation. R.G. Landes Company. Georgetown, TX.
- Cordero, J.K. (2015). *Fitorremediación in situ para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados (Plomo, Cadmio) y Evaluación de Selenio en*

- la Finca Furatena alta en el Municipio de Utica.* (Tesis de pregrado). Universidad Libre. Facultad de ingeniería. Bogotá.
- Covarrubias, S.A., García, J.A. & Cabriales, J.J. (2015). El papel de los microorganismos en la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados. *Acta Universitaria*. 25(3): 40–45.
- Cunningham, S. D., Anderson, T. A., Schwab, A. P. & Hsu, F. C. (1996). *Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants*. Magazine. Advances in Agronomy.
- Delgadillo, A.E., González, C.A, Prieto, F., Villagómez, J.R. & Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612. Recuperado el 15 de abril de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002&lng=es&tlng=es
- Diez, J. (2008). *Fitocorrección de suelos contaminados con metales pesados: evaluación de plantas tolerantes y optimización del proceso mediante prácticas agronómicas* (tesis doctoral). Universidad de Santiago de Compostela, España.
- Doner, H.E., Traina, S.J. & Pukite, A. (1982). Interaction of nickel, copper and cadmium with soil manganese in saline solutions. *Soil science*. 133(6),369-377
- Fontana, M. C. (2014). *Efecto de la utilización de leguminosas anual como abono verde sobre las condiciones del suelo y la productividad de cultivos subsiguientes*. (tesis de maestría). Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba. Argentina.
- García, I. & Dorrnsoro, C. (2005). *Contaminación por Metales Pesados*. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Recuperado de <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/introd.htm>

- García, L.M. (2009) *Capacidad remediadora y bioacumuladora de los órganos de Helianthus annuus L. “girasol” cuando son sometidas a diferentes concentraciones de plomo*. (tesis de maestría). Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú.
- Gonzales, J., Acebedo, J., Armas, C., Custodio, M., García, M., Gonzales, A., ... Vásquez, M. (2016). *Fitorremediación de un suelo con exceso de cobre utilizando cuatro especies vegetales; “girasol”, “alfalfa”, “geranio” e “higuerilla”*. Universidad Católica de Trujillo “Benedicto XVI”. Trujillo, Perú.
- Gough, L.P. (1993). *Understanding our fragile environment, lessons from geochemical studies*. Doi: 10.3133/cir1105
- Grandez, M. (2017). *Remoción de cadmio y plomo en suelos a orillas del río Mantaro, Junín, mediante fitorremediación con girasol (Helianthus annuus) y maíz (Zea mays) usando enmiendas*. p. 66.
- Guerry J. M. (2008). *Caracterización de residuos de la construcción y demolición de edificaciones para su aprovechamiento*. p.151
- Guitart, R., Vernon, G. & Thomas. (2005). *Revista Española de Salud Pública* 79(6) Madrid. Nov.- ISSN 1135-5727.
- Han, F.X., Banin, A., Kingery, W.L., Triplett, G.B., Zhou, L.X., Zheng, S. J. & Ding, W.X. (2003). Nuevo enfoque a los estudios de redistribución de metales pesados en el suelo. *Avances en Investigación Ambiental*, 8, 113-120.
- Hazrat, A., Ezzat, K. & Muhammad, A. (2013). *Phytoremediation of heavy metals- Concepts and applications*. Chemosphere. 91: 869-881. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>.

- Huang, C. P. (1999). Química ambiental del suelo y bienestar humano. 14 ° Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. *Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo*. Temuco, Chile.
- Jara, E., Gómez, J., Montoya, H., Chanco, M., Mariano, M. & Cano, N. (2014). Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. *Revista Peruana De Biología*, 21(2), 145 - 154.
- Jordán, A. (2005). *Manual de Edafología*. Recuperado el 13 de abril de 2019, de <http://files.infoagroconstanza.webnode.es/200000017-2dccc3d62/edafologia%20del%20suelo.pdf>
- Kabata, A. (2004). *Soil-plant transfer of trace elements—an environmental issue*. *Geoderma*. 122(2),143-149
- Lindström, K., Minna, M.J., Hintsa, H., Kaksonen, A. (2003). Potential of *Galega-Rhizobium galegae* system for bioremediation of oilcontaminated soil. *Food Technology and Biotechnology*.12, 11-16.
- López, S., Gallegos, M., Pérez, L.J. & Gutiérrez, M. (2005). Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 21(2),91-100
- Malkowski, E., Kurtyka, R., Kita, A. & Karcz, W. (2005). Accumulation of Pb and Cd and it effect on Ca distribution in Maize seedlings. *Polish Journal of Environmental Studies*.14(2), 203-207
- Maqueda, A. (2003). *Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados* (tesis de maestría). Universidad de las Américas. Puebla, México.
- Martin, C.W. (2000). Heavy Metals Trends in Floodplain Sediments and Valley Fill. *Catena*, 39, 53-68.

- Martin, T. & Ruby, M. (2004). Review of in situ remediation technologies for lead, zinc, and cadmium in soil. *Remediation Journal*. 14, 35-53. DOI: 10.1002/rem.20011.
- Mc Graths, S.P., Lombi, E., Zhao, F.j., y Dunham, S.j. (2001). *Phytoremediation of heavy metals- Contaminated Soils: Natura Hyperaccumulation versus Chemical Industry*. Elsevier applied Science. London
- Mengel, k. & Kirkby, E. (1978). *Principles Of Plant Nutrition*. Int Potash Inst., Bem, Switzerland.
- Mentaberry, A. (2011), *Agrobiotecnología, Fitorremediación*. Departamento de Fisiología, Biología molecular y Celular. Buenos Aires, Argentina. 63 p.
- Micó, C., Recatalá, L., Peris, M., & Sánchez, J. (2006). Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere*.65(5):863-872.
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2014). *Guía para la elaboración de planes de descontaminación de suelos*. Dirección General de Calidad Ambiental. Lima – Perú. p. 72.
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2016). *Guía informativa de manejo de residuos de construcción y demolición en obras menores*. Dirección General de Calidad Ambiental. Lima – Perú. p. 28.
- Mitchell, R.L. (1964). “Trace elements in soil”. En: F.E. Bear, (Ed.) *Chemistry of the soil*. pp. 320-368., New York; Chapman and Hall, London: Reinhold Publishing Corporation.
- Moreno, J. E. (2010). *Recuperación De Suelos Mineros Contaminados Con Arsénico Mediante Fitotecnologías*. (tesis doctoral). Universidad Autónoma de Madrid. Departamento de Química Agrícola, Madrid.

- Mulligan, C., Yong, R. & Gibbs, B. (2001). Remediation technologies for metalcontaminated soils and groundwater: an evaluation. *Engineering Geology*. 60, 193–207. DOI: 10.1016/S0013-7952(00)00101-0.
- Munive, R., Loli, O., Azabache, A. & Gamarra, G. (2018). Fitorremediación con Maíz (*Zea mays* L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados. *Scientia Agropecuaria*. 9(4),551 – 560. DOI: 10.17268/sci.agropecu.2018.04.11
- Navarro, J., Aguilar, I. & López, J. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y bioacumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*. 16(2), 10-25.
- Németh, T., Molnár, E., Csillag, J., Lukács, A., Butjás, K., & Van Genechten, M.T. (1996). Model experiments to assess the fate of heavy metals in soils. Biogeochemistry of trace elements. *A special Issue of Environmental Geochemistry and Health*. 16, 505-514.
- Noguez, A., López, A.S., Carrillo, R., González, M.C.A. (2017). *Uso de Leguminosas (Fabaceae) en Fitorremediación. Agroproductividad*. 10(4), 57-62.
- Pagnanelli, F., Moscardini, E., Giuliano, V. & Toro, L. (2004). Extracción secuencial de metales pesados en sedimentos de ríos de un área de extracción de pirita abandonada: Detección de contaminación y series de afinidad. *Contaminación ambiental*, 132, 189-201.
- Pajuelo, E., Carrasco, J.A., Romero, L.C., Chamber, M.A. & Gotor, C. (2007). Evaluation of the metal phytoextraction potential of crop legumes. Regulation of the expression of O-acetylserine (thiol) lyase under metal stress. *Plant Biology*.9, 672-681.

- Pineda, H. R. (2004). *Presencia de Hongos Micorrízicos Arbusculares y Contribución de Glomus Intraradices en la Absorción y Translocación de Cinc y Cobre en Girasol (Helianthus Annuus L.) Crecido en un Suelo Contaminado con Residuos de Mina.* (tesis doctoral). Universidad de Colima. Tecoman, Colima.
- Rajendran, P., Muthukrishnan, J. & Gunasekaran, P. (2003). Microbes in heavy metal remediation. *Indian. J. Exp. Biol.* 41, 935-944.
- Roane, T. & Pepper, I. (2000). *Microorganisms and metal pollution. Environmental Microbiology edited by Maier R., Pepper I. & Gerba C. Academic Press.* London New York.
- Robayo, R. A., Matthey, P. E., Silva, Y.F., Burgos, D.M. & Delvasto, S. (2015). Los residuos de la construcción y demolición en la ciudad de Cali. *Tecnura.* 19(44),157-170.
- Ross, S. M. (1994). "Sources and forms of potentially toxic metals in soil-plant systems" En: Ross, S.M. (ed.), *Toxic metals in soil-plant system*, pp. 3-25. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley & Sons
- Ryan, J. & Chaney, R. (1997). *Issues of risk assessment and its utility in development of soil standards: the 503 methodology an example.* Francia.
- Sauquillo, A., Rigol, A. & Rauret, G. (2003). Visión general del uso de las Pruebas de Lixiviación / Extracción para la Evaluación del Riesgo de Metales Traza en Suelos y Sedimentos Contaminados. *Trends in Analytical Chemistry*, 22, 152-159.
- Sauvé, S., Hendershot, W. & Allen, H. (2000). Solid-Solution Partitioning of Metals in Contaminated Soils: Dependence on pH, Total Metal Burden, and Organic Matter. *Environ. Sci. Technol.* 34(7): 1125–1131. DOI: 10.1021/es9907764.

- Sauve, S., Henderson, W. & Allen, H.E. (2000). Solid- Solution Partitioning of Metals in Contaminated Soils: Dependence on pH, Total Metal Burden, and Organic Matter. *Environmental Science Technology*, 34(7),1125 - 1131.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI]. (2018). *Datos climatológicos*. Recuperado de: <https://www.senamhi.gob.pe/>
- Sierra, C. & Rojas, C. (1999). *La materia orgánica y su efecto en las características físico químicas y biológicas del suelo*. INIA. Santiago. p. 5-23.
- Spain, A. & Alm, E. (2003). Implications Of Microbial Heavy Metals Tolerance in the Environment. *Reviews In Undergraduate Research*. 2, 1-62
- Steele, M. & Pichtel, J. (1998). Ex-Situ Remediation of a Metal-Contaminated Superfund Soil Using Selective Extractants. *J. Environ. Eng.* 124(7), 639–645. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9372(1998)124:7(639).
- Wang, Y.P. & Chao, C.C. (1992). Effects of Vesicular- Arbuscular Mycorrhizae and Heavy Metals on the Growth of Soybean and Phosphate and Heavy Metal Uptake by Soybean in Major Soil Groups of Taiwan. *Journal Agricultural Association China*. 157, 6-20.
- Zhuang, X., Chen, J., Shim, H. & Bai, Z. (2007). New advances in plant growth promoting rhizobacteria for bioremediation. *Environment International*, 33: 406–413.

APÉNDICES / ANEXOS



Figura 20. Área de estudio para fitorremediación



Figura 21. Desmante acumulado por los pobladores de la ciudad de Cajabamba



Figura 22. Recolectores de residuos en el entorno del área de estudio



Figura 23. Dimensiones para establecer parcelas de siembra



Figura 24. Preparación de hoyos para trasplantar la taya (*Tara spinosa* Kuntze)



Figura 25. Altura de la planta de taya (*Tara spinosa* Kuntze)



*Figura 26. Siembra de trébol rojo y rye grass (*Lolium multiflorum* Lam. y *Trifolium pratense* L.)*



*Figura 27. Instalación de la parcela de Maíz (*Zea mays* L.)*



Figura 28. Distribución de parcelas



Figura 29. Cultivo de Maíz para cosecha (Zea mays L.)



Figura 30. Desarrollo radicular del cultivo de maíz (*Zea mays* L.)



Figura 31. Dimensión radicular del cultivo de maíz (*Zea mays* L.)



Figura 32. Desarrollo del maíz (Zea Mays L.)



Figura 33. Desarrollo de la tara (Tara spinosa Kuntze)



Figura 34. Asociación de trébol rojo y ray grass (*Trifolium pratense* L. y *Lolium multiflorum* Lam.)



Figura 35. Dimensión del cultivo de Trébol Rojo (*Trifolium pratense* L.)

MÉTODOS SEGUIDOS EN EL ANÁLISIS

1. Análisis Mecánico: Textura por el Método de Hidrómetro.
2. Conductividad eléctrica: C.E. Lectura de extracto de relación suelo agua 1:1 y extracto de la pasta saturada.
3. pH. Método de potenciómetro, relación suelo-agua 1:1 y en la pasta saturada.
4. Calcáreo total: Método gaso-volumétrico.
5. Materia orgánica: Método de Walkley y Black % M.O. = % C x 1,724
6. Nitrógeno total: Método Micro Kjeldahl.
7. Fósforo: Método de Olsen Modificado, Extracto, NaHCO_3 0.5M, pH = 8.5.
8. Potasio Disponible: Extracto Acetato de Amonio 1N, pH 7.0
9. Capacidad de Intercambio Catiónico: Acetato de Amonio 1N pH 7,0
10. Cambiables: Determinaciones en extracto Amónico.
 - Ca^{2+} : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
 - Mg^{2+} : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
 - K^+ : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
 - Na^+ : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
11. Iones Solubles
 - a. Cationes Solubles:
 - Ca^{2+} : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
 - Mg^{2+} : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
 - K^+ : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
 - Na^+ : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
 - b. Aniones Solubles:
 - Cl^- : Volumétrico: Nitrato de Plata.
 - CO_3^{2-} : Volumétrico: Ácido Clorhídrico.
 - HCO_3^- : Volumétrico: Ácido Clorhídrico.
 - SO_4^{2-} : Tubidimétrico: Sulfato de Bario.
 - NO_3^- : Colorimétrico.
12. Yeso Soluble: Solubilización con agua y precipitación con acetona.
13. Boro Soluble: Colorimétrico, Método de la Curcumina.

INTERPRETACIÓN

C.E. (Sales)
Según respuesta de los cultivos
(dS/m)

Muy ligeramente Salino : < 2
Ligeramente Salino : 2 - 4
Moderadamente Salino : 4 - 8
Fuertemente Salino : 8 - 16
Extremadamente Salino : > 16

DISPONIBLES

Clase	Materia Orgánica	Calcáreo Total $\text{CaCO}_3\%$	Fósforo P (ppm)	Potasio K (ppm)
Bajo	< 2%	< 1%	< 7	< 100
Medio	2 - 4%	1 - 5%	7 - 14	100 - 240
Alto	> 4%	> 5%	> 14	> 240

EQUIVALENCIAS

1 mmhos/cm = 1 ds/m
1 cmol(+)kg = 1 meq/100gr

CIC Efectiva

< 5 meq/100 gr	M ^l y baja
5 - 10	Baja
10 - 15	Medio
15 - 20	Alto
> 20	Muy alto

Reacción del Suelo (pH)

5.1 - 5.5 Fuertemente ácido.
5.6 - 6.0 Moderadamente ácido.
6.1 - 6.5 Ligeramente ácido.
6.6 - 7.3 Neutro.
7.4 - 7.8 Ligeramente alcalino.
7.9 - 8.4 Moderadamente alcalino.

* CIC: Capacidad Intercambiable de Cationes.

Figura 36. Métodos para el análisis de las muestras de suelo. Laboratorio de Agua y Suelo FIA



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 013199

ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

SOLICITANTE : YOEL GAMA RETAMOZO
PROYECTO : TESIS
PROCEDENCIA : Zona : Cajabamba, Horizonte " B", Cajamarca
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Morterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 17 de Octubre del 2017

Número de muestra		CE dS / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	Cationes Cambiables					
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						CIC total	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺ +H ⁺
												Cmol (+) / Kg					
13199	M1 Prof. 50 cm.	0.29	66.92	15.64	17.44	Franco arenoso	8.28	2.32	7.99	134.60	70.75	10.91	10.06	0.53	0.06	0.26	-

Pb (ppm)
<0.001

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Msc. Teresa Velásquez Bejarano
JEFE DE LABORATORIO



Figura 37. Resultados caracterización de la muestra inicial del proyecto de investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 013200

ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

SOLICITANTE : YOEL GAMA RETAMOZO
PROYECTO : TESIS
PROCEDENCIA : Zona : Cajabamba, Horizonte " B", Cajamarca
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 17 de Octubre del 2017

Número de muestra		Pb (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)
Lab.	Campo			
13200	M2 Prof. 50 cm.	<0.25	<0.5	<0.325

Pb (ppm)
<0.001

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO
Ing. Msc. Teresa Velásquez Bejarano
JEFE DE LABORATORIO



Figura 38. Resultados muestra inicial de metales del proyecto de investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
 LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 013604

ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

SOLICITANTE : YOEL GAMA RETAMOZO
 PROCEDENCIA : Cajamarca
 RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
 FECHA DE ANALISIS : La Molina, 12 de enero de 2018

Número de muestra		CE dS / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	Cationes Cambiables					
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						CIC total	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ⁺⁺⁺ +H ⁺
												Cmol (+) / Kg					
13604	Suelo	0.63	67.98	18.02	14.00	Franco arenoso	7.75	2.73	38.35	342.00	2.01	6.70	5.46	0.51	0.09	0.66	-

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Msc. Teresa Velásquez Bejarano
 JEFE DE LABORATORIO



Figura 39. Resultados de caracterización de muestra posterior de metales del proyecto de investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 013601

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : YOEL GAMA RETAMOZO
PROCEDENCIA : Cajamarca
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 12 de enero de 2018

Número de muestra		Pb (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)
Lab.	Campo			
13601	Maíz	<0.05	<0.1	0.232

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Msc. Teresa Velásquez Bejarano
JEFE DE LABORATORIO



Figura 40. Resultados maíz (*Zea mays* L.) muestra posterior de metales del proyecto de investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 013603

ANALISIS DE SUELO

SOLICITANTE : YOEL GAMA RETAMOZO
PROCEDENCIA : Cajamarca
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 12 de enero de 2018

Número de muestra		Pb (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)
Lab.	Campo			
13603	Taya	<0.1	<0.005	<0.05

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Msc. Teresa Velásquez Bejarano
JEFE DE LABORATORIO



Figura 41. Resultados taya (*Tara spinosa* Kuntze) muestra posterior de metales del proyecto de investigación



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n Teléfono: 614 7800 Anexo 226 Lima Email: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 013602

ANALISIS DE SUELO

SOLICITANTE : YOEL GAMA RETAMOZO
PROCEDENCIA : Cajamarca
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 12 de enero de 2018

Número de muestra		Pb (ppm)	Cd (ppm)	Cr (ppm)
Lab.	Campo			
13602	Rygrass	<0.05	<0.1	<0.05

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

Ing. Msc. Teresa Velásquez Bejarano
JEFE DE LABORATORIO



Figura 42. Resultados rye grass y trébol rojo (*Lolium multiflorum* Lam y *Trifolium pratense* L.) muestra posterior de metales del proyecto de investigación

Tabla 22

Estándares de calidad ambiental para suelo DS N°011 2017-MINAM

N°	PARAMETROS	Usos del Suelo			Método de Ensayo
		Suelo Agrícola	Suelo Residencial Parques	Suelo Comercial/Industrial Extractivos	
I	Orgánicos				
1	Benceno (mg/kg MS)	0,03	0,03	0,03	EPA 8260-B EPA 8021-B
2	Tolueno (mg/kg MS)	0,37	0,37	0,37	EPA 8260-B EPA 8021-B
3	Etilbenceno (mg/kg MS)	0,082	0,082	0,082	EPA 8260-B EPA 8021-B
4	Xileno (mg/kg MS)	11	11	11	EPA 8260-B EPA 8021-B
5	Naftaleno (mg/kg MS)	0,1	0,6	22	EPA 8260-B
6	Fracción de Hidrocarburos F1 (C5 - C10)(mg/kg MS)	200	200	500	EPA 8015-B
7	Fracción de Hidrocarburos F2 (C10 - C28) (mg/kg MS)	1200	1200	5000	EPA 8015-M
8	Fracción de Hidrocarburos F3 (C28 - C40) (mg/kg MS)	3000	3000	6000	EPA 8015-D
9	Benzo (a) Pireno	0,1	0,7	0,7	EPA 8270-D
10	Bifenilos Policlorados – PCB	0,5	1,3	33	EPA 8270-D
11	Aldrin (mg/kg MS)	2	4	10	EPA 8270-D
12	Endrin (mg/kg MS)	0,01	0,01	0,01	EPA 8270-D
13	DDT (mg/kg MS)	0,7	0,7	12	EPA 8270-D
14	Heptacloro (mg/kg MS)	0,01	0,01	0,01	EPA 8270-D
II	Inorgánicos				
15	Cianuro Libre (mg/kg MS)	0,9	0,9	8	EPA 9013-A/APHA-AWWA-WEF 4500 CN F
16	Arsénico Total (mg/kg MS)	50	50	140	EPA 3050-B EPA3051
17	Bario Total (mg/kg MS)	750	500	2000	EPA 3050-B EPA3051
18	Cadmio Total (mg/kg MS)	1,4	10	22	EPA 3050-B EPA3051
19	Cromo Total (mg/kg MS)	0,4	0,4	1,4	DIN 19734
20	Mercurio Total (mg/kg MS)	6,6	6,6	24	EPA 7471-B
21	Plomo Total (mg/kg MS)	70	140	1200	EPA 3050-B EPA3051

GPS MAP 78s

GPS GARMIN MAP 78s

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y RENDIMIENTO:

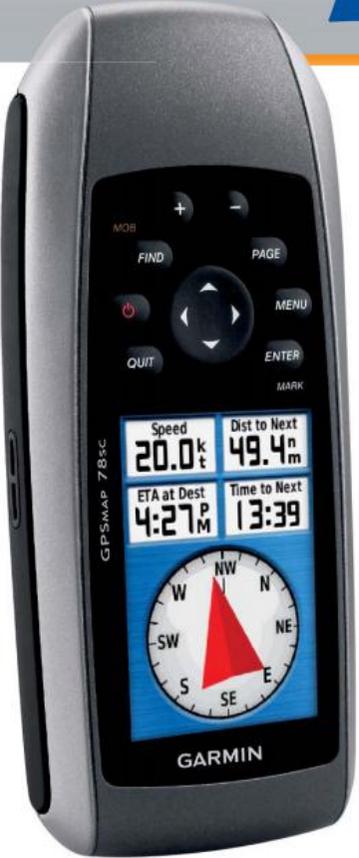
Dimensiones de la unidad (Ancho/Alto/Profundidad)	6,6 x 15,2 x 3 cm
Tamaño de la pantalla (Ancho/Alto)	4,1 x 5,6 cm
Resolución de pantalla (Ancho/Alto)	160 x 240 píxeles
Tipo de pantalla	TFT transactiva de 65.000 colores
Peso	218,3 g con pilas
Batería	2 pilas AA (no incluidas); se recomienda NIMH o litio
Duración de la batería	20 horas
Resistente al agua	Sí (IPX7)
Flotante	Sí
Receptor de alta sensibilidad	Sí
Interfaz del equipo	USB de alta velocidad y compatible con NMEA 0183

CARTOGRAFÍA Y MEMORIA:

Mapa base	Sí
Posibilidad de agregar mapas	Sí
Memoria interna	1,7 GB
Admite tarjetas de datos	Tarjeta microSD™ (no incluida)
Waypoints	2000
Rutas	200
Track log	10.000 puntos, 200 tracks guardados

PRESTACIONES:

Creación automática de rutas (giro a giro en carretera)	Sí (con la cartografía opcional para carreteras detallada)
Brújula electrónica	Sí (con inclinación compensada, 3 ejes)
Pantalla táctil	No
Altimetro barométrico	Sí
Cámara	No
Modo geocaching	Sí (sin papel)
Custom maps compatible	Sí
Navegación hacia fotos	Sí
Juegos GPS para exteriores	No
Calendario de caza y pesca	Sí
Información astronómica	Sí
Predicción de mareas	Sí
Cálculo de áreas	Sí
Puntos de interés personalizables	Sí <small>(posibilidad de agregar puntos de interés adicionales)</small>
Transferencia de unidad a unidad	Sí <small>(compartir datos con unidades similares de forma inalámbrica)</small>
Visor de imágenes	No
Compatible con Garmin Connect™	Sí <small>(comunidad online en la que puedas analizar, clasificar y compartir datos)</small>



Explora
 La unidad GPSMAP 78 se proporciona con un mapa base mundial incorporado, para que puedas navegar a cualquier lugar con facilidad. Y, como el resto de la serie 78, es resistente al agua según la norma IPX7, e incluso flota!

En este documento informativo se han respetado las especificaciones técnicas que brinda el fabricante. Las características pueden variar sin previo aviso.

Figura 43. Especificaciones técnicas GPS 78S