

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Capacidad fitorremediadora de la especie *Helianthus annuus*
mediante la incorporación de enmiendas a suelos contaminados
por metales pesados (Plomo, Cromo) de Industrias
Metalmeccánicas**

Por:

Damaris Jimena Rodrigo Tintaya

Asesor:

PhD. Leonor Segunda Bustinza Cabala

Lima, julio de 2018

Área Temática: Ciencias del suelo

Línea de investigación - UPeU: Biodiversidad y Calidad Ambiental

Ficha Catalográfica:

Rodrigo Tintaya, Dámaris Jimena

Capacidad fitorremediadora de la especie *Helianthus annuus* mediante la incorporación de enmiendas para suelos contaminados por metales pesados (Plomo, Cromo) de Industrias Metalmeccánicas; Asesor: PhD. Leonor Segunda Bustinza Cabala. –Lima, 2018.

156 páginas: gráficos, tablas

Tesis (Licenciatura), Universidad Peruana Unión. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, 2018.

Incluye: referencias, resumen y anexos

1. Fitorremediación 2. *Helianthus annuus* 3. Bioacumulación 4. Metales Pesados 5. Toxicidad.

DECLARACIÓN JURADA
DE AUDITORIA DEL INFORME DE TESIS

PhD. Leonor Segunda Bustinza Cabala, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "CAPACIDAD FITORREMIADORA DE LA ESPECIE *Helianthus Annuus* MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE ENMIENDAS PARA SUELOS CONTAMINADOS POR METALES PESADOS (PLOMO, CROMO) DE INDUSTRIAS METALMECÁNICAS" constituye la memoria que presenta la bachiller Dámaris Jimena Rodrigo Tintaya, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

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

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Lima a los 21 días del mes de agosto del 2018.

PhD. Leonor Segunda Bustinza Cabala

Capacidad fitorremediadora de la especie *Helianthus annuus*
mediante la incorporación de enmiendas a suelos de Industrias
Metalmeccánicas contaminados por metales pesados (Plomo, Cromo)

TESIS

Presentada para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

JURADO CALIFICADOR

Mg. Iliana del Carmen Gutiérrez Rodríguez
Presidenta

Mg. Joel Hugo Fernández Rojas
Secretario

MSc. Javier Linkolk López Gonzales
Vocal

Ing. Evelyn Diana Ruiz Gonzales
Vocal

Ph.D. Leonor Segunda Bustinza Cabala
Asesora

Lima, 30 de julio de 2018

DEDICATORIA

A mis queridos padres: Elena Tintaya Palacios y Juan
Rodrigo Rodrigo por sus ánimos, confianza y apoyo
incondicional.

A mis hermanas Raquel, Rina, Esther y Priscila por ser
parte de esta meta y por ser mi apoyo siempre.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la sabiduría brindada y porque me dio las fuerzas, la inteligencia para realizar este trabajo de Investigación.

A mis amados padres Elena Tintaya Palacios y Juan Rodrigo Rodrigo por su confianza y amor incondicional. Así mismo, a mis Hermanas: Raquel Rodrigo Tintaya, Rina Rodrigo Tintaya y Esther Rodrigo Tintaya por su apoyo en este trabajo de investigación.

A mi asesora de tesis, PhD. Leonor Bustinza Cabala, por su valioso apoyo y dedicación, quien con sus conocimientos y experiencia me orientó en la ejecución de este proyecto.

A mis dictaminadores: Mg. Hugo Fernández Rojas, Ing. Evelyn Ruiz Gonzales y MSc. Javier Linkolk López Gonzales quienes contribuyeron para la mejora de este trabajo.

A mis apreciados Docentes: Mg. Milda Cruz, Dr. Alfredo Matos Chamorro, Lic. Gina Tito, MSc. Natalí Carbo Bustinza por su atención y su apoyo moral, académico que me otorgaron en su momento.

Al personal que trabaja en área de Ornato de la Universidad Peruana Unión por su apoyo y colaboración constante en este trabajo de investigación.

Al personal que trabaja en el Laboratorio de Ciencias Químicas de Universidad Peruana Unión, por su apoyo indispensable para la realización de este trabajo.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles, por su amistad, consejos, apoyo y por ser soporte en momentos complicados. Sin importar donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mi corazón.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xx
ABSTRACT	xxii
CAPITULO I	23
INTRODUCCIÓN	23
1.1. Identificación del Problema.....	23
1.2. Justificación de la Investigación.....	25
1.3. Objetivo General	26
1.3.1. Objetivos específicos	26
CAPÍTULO II	27
REVISIÓN DE LITERATURA	27
2.1. Antecedentes	27
2.1.1. A nivel mundial.....	27
2.1.2. A nivel sudamericano	28
2.1.3. A nivel nacional.....	29
2.1.4. A nivel local.....	30
2.2. Conceptos generales.....	30
2.2.1. Suelo.....	30
2.2.2. Metales pesados	31
2.2.3. Industrias metalmecánicas.....	32
2.2.3.1. Materias Primas en la industria metalmecánica.....	32
2.2.3.2. Generación de Residuos y aspectos Ambientales.....	33

2.2.4.	Contaminación del suelo	34
2.3.	Marco legal	36
2.3.1.	Constitución Política del Perú (1993)	36
2.3.2.	Ley General del Ambiente, Ley 28611	36
2.3.3.	Decreto Supremo N° 011-2017 MINAM: Aprueban Estándar de Calidad Ambiental ECA para suelo	36
2.4.	Factores que influyen en biodisponibilidad de los metales y sus mecanismos de movilización en el suelo.....	37
2.4.1.	Condiciones redox	37
2.4.2.	Potencial de Hidrogenación	40
2.4.3.	Materia orgánica	41
2.4.4.	Capacidad de intercambio catiónico.....	42
2.4.5.	Conductividad eléctrica (CE).....	42
2.4.6.	Contenido y tipo de arcilla	43
2.4.7.	Presencia de cationes y aniones en la solución suelo.....	44
2.4.8.	Enmienda.....	44
2.5.	Efecto de los metales pesados: Plomo y Cromo en el medio suelo y Planta	44
2.5.1.	Efecto del Plomo	44
2.5.2.	Efecto de Cromo	47
2.6.	Fitorremediación	49
2.6.1.	Mecanismos de fitorremediación.....	51
2.6.1.1.	Fitoextracción.....	51

2.6.1.2. Fitoestabilización.....	51
2.6.1.3. Fitodegradación	51
2.6.1.4. Fitovolatilización.....	51
2.6.1.5. Rizodegradación	52
2.6.2. Especie Vegetal actuante en la fitorremediación	53
2.6.2.1. <i>Helianthus annuus</i> : “Girasol”	53
2.6.2.1.1. Características biológicas y ecológicas.....	53
2.6.2.1.2. Reproducción de la especie <i>Helianthus annuus</i>	54
2.6.2.2. Bioacumulación de los metales pesados en la materia seca radicular y foliar de <i>Helianthus annuus</i>	56
2.6.2.2.1. Mecanismos para acumular los metales pesados.....	57
2.6.2.2.2. Transporte de contaminantes inorgánicos	59
2.6.2.2.3. Procesos involucrados en la fitorremediación	59
CAPÍTULO III	61
MATERIALES Y MÉTODOS	61
3.1. Lugar de ejecución	61
3.2. Materias primas.....	61
3.3. Equipos, Materiales e insumos	61
3.3.1. Equipos.....	61
3.3.2. Materiales	62
3.4. Metodología Experimental.....	63
3.4.1. Evaluación del Poder Germinativo	63
3.4.2. Análisis de metales pesado en suelo contaminado	63

3.4.3.	Preparación de Tratamientos	64
3.4.4.	Métodos de análisis para los parámetros en estudio	66
3.4.5.	Parámetros fisicoquímicos e inorgánicos	66
3.4.6.	Características de Material Contaminante.....	68
3.4.7.	Características de Suelo Agrícola	69
3.4.8.	Características de Guano de isla	70
3.5.	Evaluación del efecto de las enmiendas sobre el crecimiento de la especie vegetal	70
3.6.	VARIABLES DE ESTUDIO.....	71
3.6.1.	Variables Independientes o Causales	71
3.6.2.	Variables Intervinientes o Desconcertante	72
3.6.3.	Variables Dependientes o Efecto	72
3.7.	Formulación de Hipótesis.....	72
3.8.	Estudio y diseño de Investigación.....	73
3.8.1.	Tipo y diseño de la Investigación	73
3.8.2.	Diseño del Experimento	74
3.9.	Análisis Estadístico	75
CAPITULO IV.....	76
RESULTADOS Y DISCUSIONES	76
4.1.	Concentración final de metal en el suelo	76
4.1.1.	Plomo Final	76
4.1.2.	Cromo Final	77
4.2.	Concentración de metal en la planta	78

4.2.1.	Plomo en Planta.....	78
4.2.2.	Cromo en Planta	79
4.3.	Conductividad eléctrica del suelo (CE)	80
4.4.	Potencial de hidrogenación en el suelo (pH)	81
4.5.	Tamaño de la planta.....	82
4.6.	Masa de planta	83
4.7.	Efecto de la incorporación de enmiendas y <i>Helianthus annuus</i> en el sistema de suelo planta.....	84
4.7.1.	Variación de la concentración de Plomo en el suelo y Planta.....	84
4.7.1.1.	Análisis de Plomo en el suelo.....	85
4.7.1.2.	Análisis Vegetal de Plomo entre tratamientos	87
4.7.2.	Variación de la concentración de Cromo en el suelo y Planta	88
4.7.2.1.	Análisis de Cromo en el suelo.....	89
4.7.2.2.	Análisis Vegetal de Cromo en los Tratamientos	90
4.8.	Efecto de la incorporación de enmiendas en la variación del crecimiento y supervivencia de <i>Helianthus annuus</i>	91
4.8.1.	Altura de Planta.....	91
4.8.2.	Porcentaje de Supervivencia.....	92
CAPITULO V	94	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94	
5.1.	Conclusiones	94
5.2.	Recomendaciones	95
REFERENCIAS	96	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Procesos de la Industria Metalmeccánica	33
Figura 2. Solubilidad de metales pesado en función del pH y del Eh (En ausencia de materia orgánica disuelta sólida); (a) los principales minerales controlan la solubilidad de los metales pesados. Fostner 1987, Citado por (Callirgos 2014)	39
Figura 3. Solubilidad de metales pesados en función del pH y del Eh (En ausencia de materia orgánica disuelta solida); (b) tendencia de incremento de la solubilidad. Fostner. 1987citado por (Callirgos, 2014).	40
Figura 4. Proceso implicados en la fitorremediación de suelos contaminados (Bernal, Clemente, Vasquez, & Walker, 2007).	52
Figura 5. Inflorescencia del Girasol. Sección transversal con detalles de flores liguladas y tubulosas.	55
Figura 6. Diagrama de absorción de agua por raíces de una planta (Hernández-acosta, Juárez-santos, & Robledo-santoyo, 2016).	56
Figura 7. Interacción interna de una planta con los metales pesados (Navarro, Aguilar, & Lopez, 2007).....	57
Figura 8. Morfología de las raíces colonizadas por Ectomicorrizas (Navarro, Aguilar, & Lopez, 2007).....	58
Figura 9. Evaluación del Poder Germinativo de la Planta (FAO).....	63
Figura 10. Maceteros empleados para la siembra de <i>Helianthus annuus</i>	66
Figura 11. Evaluación de la altura de la Planta.	71
Figura 12: Procedimiento del diseño del experimento.....	74
Figura 13. Plomo total en el suelo (ppm/muestra).	85
Figura 14. Plomo total en materia Vegetal (ppm).	87
Figura 15. Cromo total en el suelo (ppm/muestra).	89
Figura 16. Cromo total en materia Vegetal (ppm).	90
Figura 17. Altura de Planta en los Tratamientos.	91

Figura 18. Porcentaje de Supervivencia del Helianthus annuus.....	93
Figura 19. Cadena de custodia de caracterización de suelo contaminado	106
Figura 20. Cadena de Custodia de métodos seguidos en el análisis	107
Figura 21. Cadena de custodia de caracterización de suelo agrícola.....	108
Figura 22. Cadena de custodia de análisis de suelo contaminado de tratamiento T1.1	109
Figura 23. Cadena de custodia de análisis de suelo contaminado de tratamiento T1.2	110
Figura 24. Cadena de custodia de análisis de suelo contaminado de tratamiento T1.3	111
Figura 25. Cadena de custodia de análisis de suelo contaminado de tratamiento T2.1	112
Figura 26. Cadena de custodia de análisis de suelo contaminado de tratamiento T2.2	113
Figura 27. Cadena de custodia de análisis de suelo contaminado de tratamiento T2.3	114
Figura 28. Cadena de custodia de análisis de suelo contaminado de tratamiento T3.1	115
Figura 29. Cadena de custodia de análisis de suelo contaminado de tratamiento T3.2.	116
Figura 30. Cadena de custodia de análisis de suelo contaminado de tratamiento T3.3	117
Figura 31. Cadena de custodia de análisis de suelo contaminado de tratamiento T4.1	118
Figura 32. Cadena de custodia de análisis de suelo contaminado de tratamiento T4.2	119
Figura 33. Cadena de custodia de análisis de suelo contaminado de tratamiento T4.3	120
Figura 34. Materiales de carrocería para Furgones.....	121
Figura 35. Fabricación con Carrocería para Furgón de Camiones	122
Figura 36. Suelo contaminado con metales pesados en la Industria Metalmeccánica	122
Figura 37. Contaminación del suelo con hidrocarburos, pintura en la Industria Metalmeccánica.....	123
Figura 38: Profundidad de Muestra representativa	124
Figura 39. Muestreo de Suelo contaminado.....	124
Figura 40. Muestras representativas de la Industria Metalmeccánica	125
Figura 41. Cultivo de Lúcumo	126
Figura 42. Profundidad de muestreo de suelo agrícola	127
Figura 43. Muestreo de Suelo agrícola	128

Figura 44. Inicio de crecimiento de la Especie Helianthus annuus.....	129
Figura 45. Poder germinativo del Helianthus annuus.....	129
Figura 46. Preparación para el mezclado de suelo contaminado, con suelo agrícola y guano de isla	130
Figura 47. Sembrado de Helianthus annuus	131
Figura 48. Cantidad de tratamientos y repeticiones del Experimento.....	131
Figura 49. Crecimiento de Helianthus annuus	132
Figura 50. Medición de tamaño de hoja, Altura de la especie Helianthus annuus	132
Figura 51. Análisis de pH en el Laboratorio de Química de la Universidad Peruana Unión	133
Figura 52. Análisis de Conductividad eléctrica en la Laboratorio de Química en la Universidad Peruana Unión	133
Figura 53. Cadena de Custodia de Análisis Foliar T1.1	134
Figura 54. Cadena de custodia de Análisis foliar T1.2	135
Figura 55. Cadena de custodia de Análisis foliar de T2.2	136
Figura 56. Cadena de custodia de Análisis foliar de T2.3	137
Figura 57. Cadena de custodia de Análisis Foliar de T3.1	138
Figura 58. Cadena de Custodia de Análisis Foliar de T3.2.....	139
Figura 59. Cadena de custodia de Análisis Foliar de T3.3	140
Figura 60. Cadena de custodia de Análisis Foliar T4.1	141
Figura 61. Cadena de custodia de Análisis Foliar de T4.2	142
Figura 62. Cadena de custodia de Análisis Foliar T4.3	143
Figura 63. Cadena de Custodia de Análisis de suelo del post-tratamiento T1.1.....	144
Figura 64. Cadena de Custodia de Análisis de suelo del post-tratamiento T1.2.....	145
Figura 65. Cadena de custodia de Análisis de suelo del Post-Tratamiento T1.3.....	146
Figura 66. Cadena de custodia de análisis de suelo del post-tratamiento T2.1	147
Figura 67. Cadena de custodia de análisis de suelo del post-tratamiento T2.2.....	148

Figura 68. Cadena de custodia de análisis de suelo del pos tratamiento T2.3	149
Figura 69. Cadena de custodia de análisis de suelo del pos tratamiento T3.1	150
Figura 70. Cadena de custodia de análisis de suelo del post-tratamiento T3.2.....	151
Figura 71. Cadena de custodia de análisis de suelo del Post-tratamiento T3.3.....	152
Figura 72: Cadena de custodia de análisis de suelo del post-tratamiento T4.1	153
Figura 73. Cadena de custodia de análisis del suelo del post-tratamiento T4.2	154
Figura 74. Cadena de custodia de análisis de suelo del post-tratamiento T4.3.....	155

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de Suelos Contaminados	35
Tabla 2: Movilidad Relativa de los metales pesados según el potencial Redox (Eh) y el Potencial de Hidrógeno (pH) del suelo.....	38
Tabla 3: Clasificación de suelos de acuerdo a su pH.....	41
Tabla 4: Contenido de materia orgánica en suelos	42
Tabla 5: Clasificación de suelos por su conductividad Eléctrica.....	43
Tabla 6: Mecanismo de Fitorremediación	50
Tabla 7: Clasificación vegetal de <i>Helianthus annuus</i> (Girasol).....	53
Tabla 8: Materiales para el proceso experimental.....	62
Tabla 9: Tratamientos Aplicados.....	64
Tabla 10: Tipos de enmiendas incluidos en los tratamientos.	65
Tabla 11: Metodología de laboratorio para análisis de suelos contaminados.....	67
Tabla 12: Características del suelo contaminado.....	68
Tabla 13: Características del suelo agrícola utilizado.....	69
Tabla 14: Características del Guano de Isla utilizado.....	70
Tabla 15: Test Statistics de Kruskal Wallis de Concentración de Plomo Final	76
Tabla 16: Rangos de Concentración Final de Plomo en el Suelo.....	77
Tabla 17: Test Statistics de Kruskal Wallis de Concentración de Cromo Final.....	77
Tabla 18: Rangos de Concentración Final de Cromo en el Suelo	78
Tabla 19: Test Statistics de Kruskal Wallis de Concentración de Plomo en la Planta.....	79
Tabla 20: Rangos de Concentración de Plomo en la Planta	79
Tabla 21: Test Statistics de Kruskal Wallis de Concentración de Cromo en la Planta.....	80
Tabla 22: Rangos de Concentración de Cromo en la Planta.....	80
Tabla 23: Test Statistics de Kruskal Wallis de Conductividad Eléctrica del Suelo	81
Tabla 24: Rangos de Análisis de Conductividad Eléctrica en los Tratamientos.....	81
Tabla 25: Test Statistics de Kruskal Wallis de Potencial de Hidrogenación en el suelo....	82

Tabla 26: Análisis de Potencial de Hidrogenación (pH) en los Tratamientos.....	82
Tabla 27: Test Statistics de Kruskal Wallis de Tamaño de la Planta	83
Tabla 28: Rangos de Análisis de Tamaño de la Planta	83
Tabla 29: Test Statistics de Kruskal Wallis de masa de Planta.....	84
Tabla 30: Rangos de Análisis de Masa de la Planta	84
Tabla 31: Masa de Plomo Total en el suelo y planta	84
Tabla 32: Cromo Total en suelo y planta.....	88
Tabla 33: Decreto Supremo N°011-2017-MINAM Estándares de Calidad Ambiental para Suelo.	104

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Decreto Supremo N° 011-2017 - MINAM - Estándar de Calidad Ambiental para Suelo.	104
Anexo 2: Análisis del Suelo Contaminado provenientes de la Industria.	106
Anexo 3: Análisis del Suelo Agrícola proveniente del Cultivo de Lúcumo.	108
Anexo 4: Análisis de metales pesados del Suelo en todos los tratamientos.....	109
Anexo 5: Procesos de las Industrias Metalmecánicas.....	121
Anexo 6: Muestreo de Suelos para el tratamiento de Fitorremediación	124
Anexo 7: Muestreo de suelos para el tratamiento de Fitorremediación	126
Anexo 8: Análisis del Poder germinativo de la especie <i>Helianthus annuus</i>	129
Anexo 9: Construcción del sistema de tratamiento Fitorremediación	130
Anexo 10: Análisis Foliar del <i>Helianthus annuus</i> respecto a Plomo y Cromo.....	134
Anexo 11: Análisis posterior al tratamiento de metales pesados en el suelo.....	144

Símbolos

ECA: Estándares de Calidad Ambiental

CE: conductividad Eléctrica

CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico

pH: Potencial de hidrogenación

ppm: Partículas por millón

Cr: Cromo

Pb: Plomo

MINAM: Ministerio del Ambiente

Mg/L: Miligramos por Litro

EAA: Espectrometría de Absorción Atómica

DS: Decreto Supremo

FAO: Organización de las Naciones Unidas

LAASMA: Laboratorio agrícola de agua, suelo y medio ambiente

T1, T2, T3, T4: Tratamientos

MO: Materia Orgánica

SPSS: Statistical Package for the Social Sciences

RESUMEN

La presente investigación tiene como propósito evaluar la capacidad fitorremediadora de la Especie *Helianthus annuus* mediante la incorporación de enmienda (Guano de isla) a suelos de industrias metalmeccánicas contaminados con metales pesados: Cromo y Plomo, empleando una alternativa económica, simple, natural para la recuperación del suelo.

En la evaluación, se empezó analizando la biodisponibilidad de semillas, verificando su poder germinativo que fue en 95%. Seguidamente se prepararon 12 macetas que contenían cuatro tratamientos con tres repeticiones. Así mismo, se procedió a la siembra y cultivo de plantas en un periodo de 60 días, dentro de los meses de agosto a septiembre del 2017, en el vivero de la Universidad Peruana Unión, que incluían enmienda orgánica: Guano de Isla y Suelo agrícola, las cuales fueron mezcladas junto con el suelo contaminado.

Como parte de los objetivos relacionados al presente trabajo de investigación se realizó la evaluación del efecto del *Helianthus annuus* sobre la variación del pH, Conductividad eléctrica, así como el crecimiento de la especie vegetal, la masa vegetal y la concentración de Cr y Pb total en el suelo, materia seca vegetal.

Al finalizar la evaluación se determinó que la aplicación de enmiendas en el Tratamiento T3 y T4 favorece la bioacumulación de Pb (75.54 ppm de Pb en T3; 46.09 ppm de Pb en T4) y en la planta (50.70 ppm de Pb en T3; 41.30 ppm de Pb en T4) de la especie *Helianthus annuus*; en relación con el Cr (47.40 ppm de Cr en T3; 79.5 ppm de Cr en T4) y en la especie vegetal (9.21 ppm de Cr en T3 y 19.3 ppm de Cr en T4). En general el *Helianthus annuus* bioacumuló mayor cantidad de Plomo y Cromo en los T3 y T4; así mismo, logró un gran porcentaje de supervivencia (masa vegetal, crecimiento) en dichos tratamientos. Por otro lado, los valores de conductividad en el suelo que poseían enmiendas favorecieron a la fitorremediación. El pH se mantenía en neutro, lo que es importante para la disponibilidad de los metales pesados.

Palabras Clave: Fitorremediación, *Helianthus annuus*, bioacumulación, metales pesados, toxicidad.

ABSTRACT

The purpose of this investigation is to evaluate the phytoremediation capacity of the *Helianthus annuus* species by incorporating a structure of metal mechanics contaminated with heavy metals: Chromium and Lead, using an economic, simple, natural alternative for the recovery of that soil

The evaluation, began to analyze the bioavailability of seeds, verifying its germinative power that was 95%. Then 12 pots were prepared that contained four treatments with three repetitions. As well as the procedure for the harvest and the cultivation of plants in a period of 60 days, within the months of August to 2017, in the nursery of the Universidad Peruana Unión, which includes organic wood: Island Guano and Agricultural Land , which were mixed with the contaminated soil.

As part of the objectives related to the present research work was carried out the evaluation of the effect of *Helianthus annuus* on the variation of pH, electrical conductivity, as well as the growth of the vegetal species, the vegetal mass and the concentration of Cr and Pb in total the soil, vegetable dry matter.

At the end of the evaluation it was determined that the application of amendments in Treatment T3 and T4 favor the bioaccumulation of Pb (75.54 ppm of Pb in T3, 46.09 ppm of Pb in T4) and in the plant (50.70 ppm of Pb in T3; 41.30 ppm of Pb in T4) of the species *Helianthus annuus*; in relation to Cr (47.40 ppm of Cr in T3, 79.5 ppm of Cr in T4) and in the plant species (9.21 ppm of Cr in T3 and 19.3 ppm of Cr in T4). In general, *Helianthus annuus* biame increased amount of Lead and Chromium in T3 and T4; Likewise, achieved a large percentage of survival (plant mass, growth) in these treatments. On the other hand, the values of conductivity in the soil that possessed amendments favored the fiotremediaon. The pH remained neutral, which is important for the availability of heavy metals

Key words: Phytoremediation, *Helianthus annuus*, bioaccumulation, heavy metals, toxicit

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Identificación del Problema

En las últimas décadas se ha acelerado el desarrollo industrial y crecimiento de las poblaciones contribuyendo a generar serios problemas por la contaminación de metales pesados provocando el deterioro de la calidad del agua, aire y suelo (Chico, Cerna, Rodríguez, & Guerrero, 2012) .

Además, las actividades industriales, mineras generan una contaminación a gran escala con metales pesados (Cu, Pb, Cd, Cr, Ni, Hg, Co, Ag, Au) y radionúclidos en los ambientes, en particular en los suelos de tal forma que, afectan su fertilidad y en caso de acuíferos pueden comprometer este recurso como fuente para el consumo humano (Vullo, 2003).

Con respecto a metales pesados se definen como aquellos elementos químicos que presentan una densidad igual o superior a 5 g cm^{-3} cuando están en forma elemental cuyo número atómico es superior a 20 (exceptuando a los metales alcalinos y alcalinos térreos). Estos pueden clasificarse en dos grupos: oligoelementos o micronutrientes, son necesarios en pequeñas cantidades pero cuando sobrepasan son tóxicos; incluyen As, B, Cr, Co, Mo, Ni, Se, Zn y el segundo grupo sin función biológica conocida: Ba, Cd, Hg, Pb, Sb, Bi (Navarro-Aviñó, Aguilar Alonso, & López-Moya, 2007).

Así mismo, Navarro, Aguilar, & Lopez (2007) indica que la Unión Europea define contaminación a la “introducción directa o indirecta como consecuencia de la actividad humana de sustancias, vibraciones, calor o ruido en el aire, el agua o suelo que pueden causar daños, a la propiedad material o entorpecer las actividades recreativas”. La contaminación con metales pesados pueden deberse básicamente a dos factores: causas naturales como erosión

de rocas, terremotos, tsunamis, etc. y causas antropogénicas (incineración, mineras, pesticidas, hidrocarburos). Por ejemplo, en el Valle del Guadamar tras el vertido Azancóllar la contaminación de suelos se dió a través de las aguas que llevaban gran concentración de metales pesados por disolución ingresando por grietas y poros.

Cabe mencionar que los metales pueden estar en el suelo en formas móviles, es decir disueltas y en sitios de intercambio catiónico; la segunda forma inmóviles que pueden volverse móviles o biodisponibles (Cabrera, 2000).

En Perú, se reportó que los relaves mineros, drenajes ácidos y aportes de sólidos totales afectan a los recursos acuáticos y suelos por consiguiente a los productos agrícolas. Los relaves mineros contienen Oro, Plata y metales básicos como Cobre, Zinc, Plomo siendo estos minerales que predominan en la industria peruana (Chico, Cerna, Rodríguez, & Guerrero, 2012).

En cuanto a remediación de suelos mediante tecnologías para descontaminar los suelos se pueden clasificar en: tecnologías aplicadas *in situ* (emplazamiento contaminado sin mover el suelo), *on situ* (emplazamiento contaminado pero moviendo el suelo) y *ex situ* (mover al suelo a otro lugar). Sin embargo, hay otras técnicas físicas, químicas para el tratamiento del suelo contaminados con elementos de traza (Moreno, 2010).

Lerma (2006) menciona que se ha demostrado que las plantas son efectivas en la limpieza de suelos contaminados y tienen la capacidad de acumular metales pesados de manera natural en pequeñas y altas cantidades ya que actúan por requerimientos funcionales o mecanismo de defensa; a ello se le conoce como fitorremediación.

La planta *Helianthus annuus* perteneciente a la familia de *Asteraceae* conocida como girasol, por referencias tiene la capacidad de acumular metales debido a que es tolerante a estos agentes. Frente a esta problemática planteamos las siguientes preguntas.

- ¿Cuál es la capacidad fitorremediadora de *Helianthus annuus* mediante la incorporación de enmiendas a suelos de industrias metalmeccánicas contaminados por metales pesados?
- ¿Cuál es el efecto de la adición de enmienda sobre: pH, Conductividad eléctrica, y concentración de Pb, Cr (metales pesados) sobre el suelo en estudio?
- ¿Cuál es la influencia de la enmienda sobre el crecimiento y supervivencia de la especie *Helianthus Annuus*?

1.2. Justificación de la Investigación

La problemática que enfrenta el distrito de Ate Vitarte, provincia de Lima, es la falta de control de sus procesos, generando daños ambientales por las industrias metalmeccánicas, siendo este un tema relevante, que requiere prestar atención y tomar medidas correctivas y preventivas mediante la aplicación de la técnica de fitorremediación que actuará como remediadora de los suelos contaminados. Además, este método es una alternativa económica, simple, natural para recuperar suelos con presencia de metales pesados.

Igualmente, en el ámbito económico permitirá minimizar los impactos que se generan al ambiente, y evitar las sanciones y/o multas aplicadas a las industrias. En el ámbito social, logrará formar un ambiente sostenible para las generaciones futuras.

El tratamiento del suelo mediante la técnica de fitorremediación es una alternativa para remover suelos contaminados por metales pesados, si se aplica esta técnica los suelos degradados pueden ser remediados para mejorar el ecosistema y cumplir con los estándares de calidad ambiental establecidos por la autoridad competente Ministerio del Ambiente (MINAN) dentro del marco legal por la ley 27446 y su reglamento por el DS. N° 011-2017—MINAN. De esta manera se evitará la contaminación que existe en los alrededores de los asentamientos humanos que pone en riesgo a la salud humana. En última instancia, este

trabajo de investigación busca que las industrias metalmeccánicas se conviertan en empresas sostenibles, para aportar al ecosistema nacional.

1.3. Objetivo General

Estimar la capacidad fitorremediadora de la especie *Helianthus annuus* mediante la incorporación de enmiendas a suelos de industrias metalmeccánicas contaminados por metales pesados (Plomo y Cromo).

1.3.1. Objetivos específicos

Determinar el efecto de la adición de enmienda sobre: pH, Conductividad eléctrica, y concentración de metales pesados: Pb, Cr.

Evaluar la influencia de la enmienda sobre el crecimiento y supervivencia de la especie *Helianthus Annuus*.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. A nivel mundial

En la zona centro de España, Alcalá de Henares, en el 2004, se comprobó la contaminación en lodos residuales del sistema edáfico, reutilizados como enmienda en suelos. El objetivo fue determinar la capacidad de absorción de metales pesados de tres especies (Cebada, veza, girasol), cultivados con distintas dosis de lodos compostados, con restos de poda y suelo contaminado. Se sembró estas especies, con 3 tratamientos distintos: testigo, sin adición de lodo; dosis baja media de lodo de 42,5 t/ha y dosis alta de lodo 85t/ha y tres repeticiones por tratamiento, donde se demostró que el contenido de metales pesados en el sistema radicular de la cebada incremento con la dosis de lodo aplicado, esta tendencia se aplicó en el girasol para el Cu, siendo las mayores cantidades de metales acumuladas en la cebada que el veza y girasol (Cabezas, Alonso, Pastor, (2) Sastre-Conde, & y Lobo, 2004).

En la ciudad Chihuahua, México en el 2011, debido a la contaminación generalizada, se probó la tolerancia de la germinación de la semilla de *Helianthus annuus* silvestre a diferentes niveles de concentración de metales en el suelo, este estudio se realizó a diferentes concentración de soluciones acuosas a 0, 25, 50, 100, 200, y 400 mg/L de Cd (NO₂)₃ y Pb (NO₂)₃; 0, 12.5, 25, 50, 100 y 200 mg/L de Cr (NO₂)₃, y 0, 50, 100, 200, 400, y 600 mg/L de Ni (NO₂)₃ sobre algodón y papel filtro bajo condiciones de vivero, colocando 60 semillas, cuatro repeticiones para cada una. No se observaron diferencias significativas (P>0.05) como resultado de los tratamientos. Concluyendo que la semilla no absorbe los metales, además la semilla germinó en todos los niveles de tratamiento utilizados. Estos resultados son importantes ya que muestran que esta especie silvestre puede ser sembrada directamente en

áreas contaminadas para prácticas de fitorremediación (Gutiérrez, Melgoza, Alarcón, & Ortega, 2011).

2.1.2. A nivel sudamericano

En el 2016 en el país de México, su problemática mayor fue el progresivo avance industrial que trajo consigo la contaminación de metales pesados y que superan los límites máximos permisibles, siendo perjudiciales para las plantas, medio ambiente, incluido el hombre, en este caso su objetivo principal fue evaluar el desarrollo del *Helianthus annuus* y su capacidad de extracción de metales pesados bajo la influencia de nutrientes y composta. Dentro de su desarrollo se colectaron 30 sitios empleando método de muestreo Zigzag, colectando aproximadamente 5 kg de suelo de cada lugar y agregando dosis altas y bajas de composta, Nitrógeno y Fosforo en un tratamiento de 60 días, se cosecho y se secó las plantas para obtener muestras de raíz y hojas, tallo aplicando la técnica de digestión húmeda y determinó el contenido de metales pesados mediante espectrofotometría de absorción atómica (EAA). Concluyendo que la mayor bio acumulación de plomo, zinc y Cadmio se presentó en el tallo y el cobre, níquel, manganeso en sus raíces (Hernández, Juárez, Robledo, Díaz, & Cristobal, 2016).

En Zaragoza, ciudad de México en el 2013, se detectó complicaciones con la contaminación ambiental generada por la industria y las actividades mineras; por ello, su objetivo principal fue estimar la capacidad de fitorremediación de trigo, girasol y frijol para remediar suelos contaminados con Cu, Cd, Zn, Ni, Pb, desarrollándose en un invernadero con contenedores de agrolíta y riego con solución nutritiva para el testigo y para el tratamiento a la solución se le añadió una mezcla de metales pesados de 1000 ppm de Cu, Cd, Zn, Ni, Pb) en concentración crítica (Cd= 4 ppm, Cu= 30 ppm Ni= 15 ppm, Pb=40 ppm y Zn=300 ppm). Semanalmente, se midió altura, flores y/o frutos; al final de la semana 14 se cosechó; las

plantas se lavaron, secaron a 50°C para su análisis de metales pesados con espectrofotometría de absorción atómica. El trigo presentó una supervivencia del 66% y una altura de 40 cm, a diferencia del girasol y el frijol que solo sobrevivieron el 37% y el 17% respectivamente de los individuos. De acuerdo al índice de tolerancia (110.04 a 210.05%) son altamente tolerantes y el factor de traslocación (raíz-tallo) (0.003 a 0.344) determina que las tres especies son acumuladoras de estos metales; se consideran aptas para ayudar en la descontaminación de un sitio y se pueden considerar como fitorremediadoras (Alarcón, 2013).

2.1.3. A nivel nacional

En la ciudad de Trujillo en el año 2012, se evidenció que el suelo estaba contaminado con metales pesados a causa de las industrias y los procesos de metalúrgicos de minería, generando una progresiva degradación de los recursos naturales. A razón de ello el objetivo fue demostrar la capacidad fitorremedadora de las raíces de *Helianthus annuus* "girasol", donde se seleccionaron 20 plántulas de girasol dentro de 20 días fueron sometidas a tratamientos de 100 µM Pb/Lt, 200 µM Pb/Lt, 300 µM Pb/Lt, 400 µM Pb/Lt, 500 µM Pb/Lt, concluyendo que la longitud de la raíz no se ve afectada por la concentración de Plomo, siendo capaces de tolerar concentraciones de 500 mg/l de Plomo (Rodríguez, Chico, & Orlando, 2014).

En el departamento de Junín, provincia de Jauja, se aplicó la tecnología de la fitorremediación en la estación experimental "El Mantaro" utilizando *Helianthus annuus* para erradicar la presencia de metales pesados. Para lo cual se tomaron muestras de suelos en tres etapas, antes del cultivo, cultivo y después del cultivo. Se evaluaron más de 10 metales, concluyendo que la fitoextracción de los metales pesados y metaloides por *Helianthus annuus* fue absorbida por las raíces, tallos, hojas. A la vez indica que es una planta acumuladora de

metales pesados y que el Cadmio, Cobre, manganeso, Plomo, Zinc obtuvieron mejor translocación (Peña & Beltran, 2017).

2.1.4. A nivel local

En el distrito de Santa Cruz de Cocachacra, Provincia de Huarochirí, región de Lima en el 2017, se observó la gran contaminación de cuerpos de agua, aire y pérdida de cobertura vegetal generando problemas a la salud humana y animales, se determinó reducir la cantidad de plomo en los suelos contaminados por medio de la planta *Helianthus annuus* "Girasol", las muestras de suelo fueron tomadas alrededor de los centros poblados de Corcona. El experimento consistió en sembrar semillas de girasol, en suelo contaminado (testigo) y otros tratamientos con enmienda de aserrín y humus, el mismo que tuvo tres repeticiones, la duración del cultivo fue de 60 días. Concluyendo que el girasol actúa como buen fitorremediador, reduciendo en los tres tratamientos en una concentración de 4550 mg Pb/Kg a 1116.67 mg Pb/Kg y a la vez identificando que el Pb afecta considerablemente a la planta ya que su crecimiento fue lento y generó marchitez y estrés.

2.2. Conceptos generales

2.2.1. Suelo

El suelo forma parte esencial en el sostenimiento de la biosfera, siendo importante para la vida. Además, esta es capaz de producir biomasa que sirve de alimento; dota de energía a algunos seres vivos; filtra y regula y transforma la materia. Este está compuesto por sección rocosa o inorgánica y/u orgánica. Por otro lado, el suelo es un recurso vital y es la fuente primordial de materias primas y un elemento básico. Además, sobre él se realizan los procesos de producción como la agricultura, industrias, etc. (Voltaire, 1978). Desde el punto de vista de la agricultura el suelo es el medio donde crecen las plantas y el almacén de donde sacan sustancias nutritivas, agua, aire, para su desarrollo; además un suelo saludable

garantizará que los productos biológicos terrestres promuevan impactos positivos sobre la salud humana.

Según la Fundación Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (1980) indica que “El suelo es el material no consolidado en la superficie que está sometido a influencia de factores genéticos y ambientales: material parental, clima, macro y microorganismos y topografía, todos actuando en un lapso de tiempo y generando y generando un producto: el suelo”.

Según Hillel, 1998 citado Callirgos (2014) considera al suelo como un cuerpo natural involucrado en interacciones dinámicas de la atmósfera y que influye el clima y ciclo hidrobiológico del planeta y que sirve como medio de crecimiento para organismos vivos.

La presencia de metales pesados en el suelo causa efectos desfavorables y perjudiciales para la salud humana. Por ejemplo, el contenido de arsénico produce pérdida de apetito y peso, trastornos estomacales, conjuntivitis y enfermedades de la piel entre otro. Así mismo, el plomo genera de trastorno mentales y por último el mercurio es altamente tóxico produciendo enfermedades a los riñones.

2.2.2. Metales pesados

Se denomina metales pesados a aquellos elementos químicos que presentan una igual densidad igual o superior a 5 g/cm^3 y cuando están en forma elemental, su número atómico es mayor a 20 (exceptuando a los metales alcalinos y alcalinos térreos). Estos pueden clasificarse en dos grupos: oligoelementos o micronutrientes: son necesarios en pequeñas cantidades pero cuando sobrepasan son tóxicos; incluyen As, B, Cr, Co, Mo, Ni, Se, Zn y el segundo grupo sin función biológica conocida: Ba, Cd, Hg, Pb, Sb, Bi (Navarro, Aguilar, & Lopez, 2007).

Dentro del aporte externo, la dinámica de los suelos cuando estos son contaminados por metales pesados en distintas vías: retenido y transformados en el suelo; absorbido por las

plantas y metabolizado por los organismos; volatilizados a la atmósfera y evacuados a las aguas de escorrentía superficiales y sub superficiales. Estas pueden encontrarse en aguas superficiales en forma articulada o coloidal; es decir, pueden darse en hidróxidos, óxidos, silicatos, arcillas o materia orgánica (Aragón, 2005). Por otro lado, el aporte interno indica el grado de enriquecimiento de los elementos traza en suelos arenosos.

2.2.3. Industrias metalmecánicas

Este sector agrupa un gran número de actividades económicas dentro de las cuales son: el arte en metal, productos de primera transformación, industria auxiliar, artículos metálicos, mecánico, mecánica en general.

Es necesario mencionar que el sector de transformados metálicos se encuentra dentro de un rango desfavorable en cuanto a la contaminación ambiental, a causa de la cantidad y variedad de residuos que evacua. Estas se centran en emisiones atmosféricas, vertido de aguas, residuales y generación de residuos sólidos tóxicos y peligros.

2.2.3.1. Materias Primas en la industria metalmecánica

Los procesos y los materiales usados en la industria metalmecánica son básicamente las piezas metálicas y los procesos de lubricación, líquidos o fluidos de trabajo, pastas, lubricantes sólidos, poliuretano, pintura, aditivos, recubrimientos. Ver figura 1.

Además de las mencionadas materias primas se genera la formación de chip y viruta. Estas se producen del deslizamiento de una serie de niveles deformados del metal. Por otro lado se encuentran aceites, productos: solubles, semi sintéticos, sintéticos, estos son a base de petróleo. Cabe mencionar que los aceites solubles o emulsionantes contienen de 60 a 90% de aceite mineral en el concentrado y como emulsionantes principalmente sulfonatos (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2001).

Los líquidos semi sintéticos tiene contenidos de aceites minerales mucho menor que los aceites solubles variando de 2 a 80% de concentrado. Aparte de ello, lubricantes sólidos: jabones, grafito, vidrio y disulfuro de molibdeno, estos son aplicados como polvos.

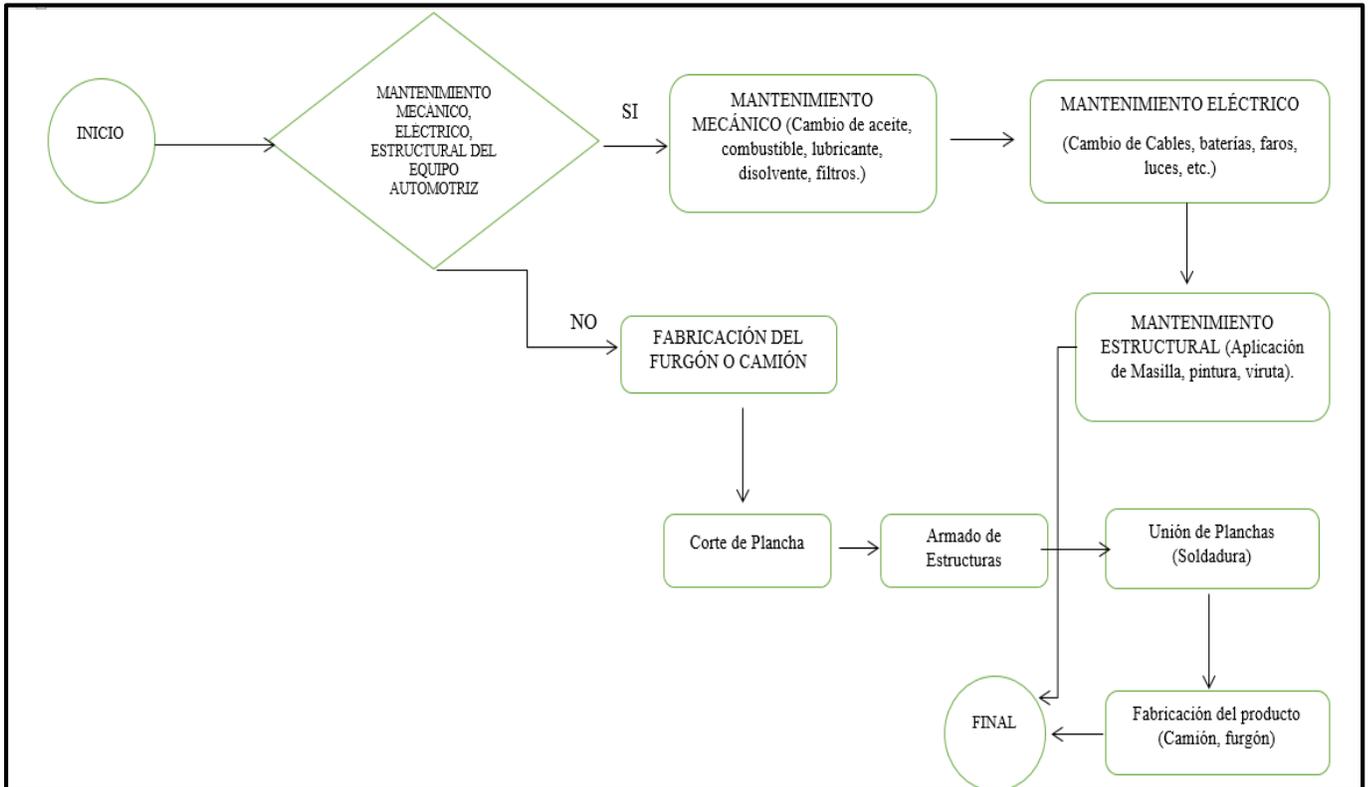


Figura 1. Mapa de Procesos de la Industria Metalmeccánica

2.2.3.2. Generación de Residuos y aspectos Ambientales

En el proceso de las industrias metalmeccánicas, el principal problema es la generación virutas y chip y residuos líquidos o fluidos del trabajo, los cuales son manejados como sólidos y estos se convierten en un potente contaminante cuando entran en contacto con otros materiales extraños.

Por otro lado, los metales de acero contienen metales como Cadmio, Cromo, Plomo, Mercurio, Níquel, plata y Zinc. Añadido a estas materias primas los aceites contiene metales

como cadmio, cromo, plomo, cloruros, sulfuros, fosfatos, fenoles, cresoles y álcalis (Comisión Nacional del Medio Ambiente-Región Metropolitana-Chile, 2001).

2.2.4. Contaminación del suelo

Navarro, Aguilar, & Lopez (2007) indica que la contaminación con metales pesados puede deberse a dos factores: causas naturales como erosión de rocas, terremotos, tsunamis, etc. y causas antropogénicas (incineración, mineras, pesticidas, hidrocarburos).

Según Vullo (2003) menciona que las actividades industriales, mineras generan una contaminación a gran nivel con metales pesados (Cr, Ni, Hg, Co, Ag, Au, Cu, Pb, Cd) y radionúclidos en los ambientes, en particular en los suelos de tal forma que afectan la fertilidad y en caso de acuíferos pueden comprometer este recurso como necesidad para el consumo humano. Su toxicidad es muy alta, su acción es directa sobre los seres vivos ocurre a través de la inactivación enzimática por la formación de metales y los grupos de –SH (sulfhídricos) causando daños irreversibles sobre los organismos.

La contaminación ocurre cuando un elemento o sustancia están presentes en concentraciones mayores que la natural y tiene un impacto negativo sobre el ambiente; se muestran niveles de contaminación en la Tabla 1 y Anexo 1.

Exclusivamente, hablando del Plomo su resistencia a la corrosión, ductilidad, maleabilidad y facilidad para formar aleaciones. El Plomo es absorbido por inhalación de partículas de Plomo generadas por combustión y la exposición al polvo constante, ingestión y a través de la piel.

Tabla 1: *Clasificación de Suelos Contaminados*

PARÁMETRO	VALORES				CONTAMINACIÓN	CONTAMINACIÓN	CONTAMINACIÓN
	TÍPICOS	PARA	CONTAMINACIÓN		CONTAMINACIÓN	CONTAMINACIÓN	INUSUALMENTE
	SUELOS	NO	LIGERA		ALTA		ALTA
	CONTAMINADOS						
pH (Acido)	6-7		5-6		4-5		<2
pH (alcalino)	7-8		8-9		9-10		>12
Arsénico (ppm)	0-30		30-50		50-100		>500
Cadmio (ppm)	0-1		1-3		3-10		>50
Cromo (ppm)	0-100		100-200		200-500		>2500
Cobre (ppm) (disponible)	0-100		100-200		200-500		>2500
Plomo (ppm)	0-500		500-1000		1000-2000		>1%
Plomo disponible	0-200		200-500		500-1000		>5000
Manganeso	0-500		500-1000		1000-2000		>1%
Níquel	0-20		20-50		50-200		>10000
Zinc	0-250		250-500		500-1000		>5000

FUENTE: Agencia Europea de Medio Ambiente (2016)

La legislación en el Perú, está determinado por un estándar de calidad ambiental por la autoridad competente Ministerio del Ambiente (MINAM) establecido dentro del marco legal por la ley 27446 y su reglamento por el DS. N° 011-2017—MINAM (ver Anexo 1).

2.3. Marco legal

2.3.1. Constitución Política del Perú (1993)

En la constitución Política del Perú (1993), en su artículo 22 indica que toda persona tiene derecho a la calma, al placer del tiempo libre y al descanso, así mismo, al goze de un ambiente equilibrado y apropiado para el desarrollo de su vida.

2.3.2. Ley General del Ambiente, Ley 28611

En su artículo 6 de Ley 28611 señala que dentro de las restricciones al ejercicio de los derechos de propiedad y a la libertad de trabajo, empresa, comercio e industria, están sujetos a las parametros que establece la ley en resguardo del ambiente.

Así mismo, en su artículo 31 indica el significado del Estándar de Calidad Ambiental, indicando que es una disposición que norma el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presenten en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Por último, en su artículo 91 señala que el estado, busca prevenir la perdida y deterioro del suelo por erosión o contaminación ejercida por el hombre.

2.3.3. Decreto Supremo N° 011-2017 MINAM: Aprueban Estándar de Calidad Ambiental ECA para suelo

El DS N° 011-2017 MINAM, indica que el ámbito de aplicación es para toda actividad que se encuentre dentro del país y que pueda generar contaminación al suelo. Así mismo, en

su artículo 2° señala que son aplicables para aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicios, constituyéndose obligatorio para el diseño y aplicación del Sistema de Gestión Ambiental. Por otro lado, indica que los planes de descontaminación de suelos se realizarán cuando se determine la existencia de un suelo comprometido con metales pesados derivado de actividades, extractivas, productivas o de servicios. Igualmente en el Anexo I nos indica estándares de Calidad ambiental para el suelo.

2.4. Factores que influyen en biodisponibilidad de los metales y sus mecanismos de movilización en el suelo

Biodisponibilidad se define como el grado en que las sustancias presentes en el suelo, pueden ser absorbidas o metabolizadas por receptores humanos o naturales o quedar disponibles para interactuar con los sistemas biológicos. Además, la biodisponibilidad de un elemento depende de la forma química en que se encuentre en el medio y la eficiencia de los organismos para absorberlo o ingerirlo. Hay varios factores para determinar la biodisponibilidad; como por ejemplo, las propiedades del suelo, la especiación de metales, la especie vegetal a aplicar para extraer el metal, la relación entre la raíz y la planta.

2.4.1. Condiciones redox

El valor de potencial redox determinado indica el nivel de presión o recepción de electrones en un momento dado, pero no la capacidad permanente de ese valor. Los valores de potencial redox varían en el suelo entre +800 mV (Oxidación fuerte) hasta -300 mV (reducción fuerte). Su interpretación indica las condiciones de inundación y alto contenido en materia orgánica. El valor generalmente aumenta con el contenido de O₂, Fe³⁺ y baja al aumentar la materia orgánica Fe²⁺, Mn²⁺, y H₂S (Zavaleta, 1989)

Es relevante indicar que el valor de potencial redox es simbolizado por E_h o por rH. Está influenciado por el pH, esto se debe a que la concentración de iones Hidrógeno afecta el grado de ionización y consecuentemente el rH. Plant y Raiswell (1983) citado por (Callirgos, 2014) han desarrollado una tabla sobre la movilidad de los metales pesados y elementos asociados en función a las condiciones de pH y E_h , que se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: *Movilidad Relativa de los metales pesados según el potencial Redox (E_h) y el Potencial de Hidrógeno (pH) del suelo*

Movilidad	Oxidante	Acido	Neutro y alcalino	Reductor
Alta	Zn	Ni, Hg, Ag, Au Zn, Cu, Co,		
Media	Ag, Au, Cd, Cu, Co, Ni, Hg,	Cd	Cd	
Baja	Pb	Pb	Pb	
Muy baja	Al, Sn, Pt, Cr, Zr, Fe, Mn	Al, Sn, Pt, Cr.	Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au ,Al, Sn Cr,	Ag, Au, Cd, Pb, Zn, Cu, Co, Ni, Hg,

FUENTE: Plant y Reiswell (1983) citado por (García & Donrronsoro, 2005) .

El potencial de oxidación - reducción es responsable de que el metal se halle en estado oxidado o reducido. El diagrama de E_h (Ver Figura 2 y 3) proporciona un método fácil para comprender el comportamiento de los metales pesados frente a un cambio de condiciones ambientales y descubrir la estabilidad de los compuestos metálicos.

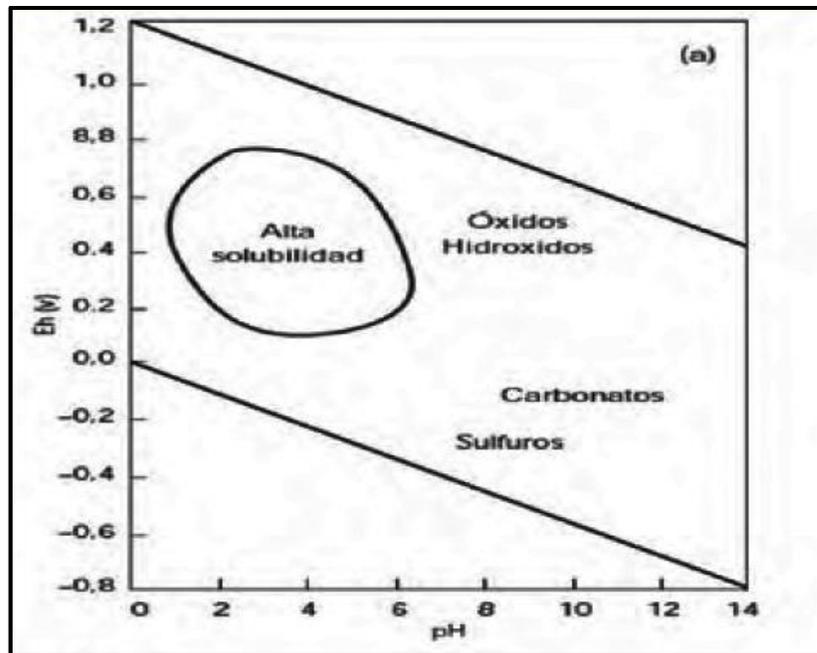


Figura 2. Solubilidad de metales pesados en función del pH y del Eh (En ausencia de materia orgánica disuelta sólida); (a) los principales minerales controlan la solubilidad de los metales pesados. Fostner 1987, Citado por (Callirgos 2014)

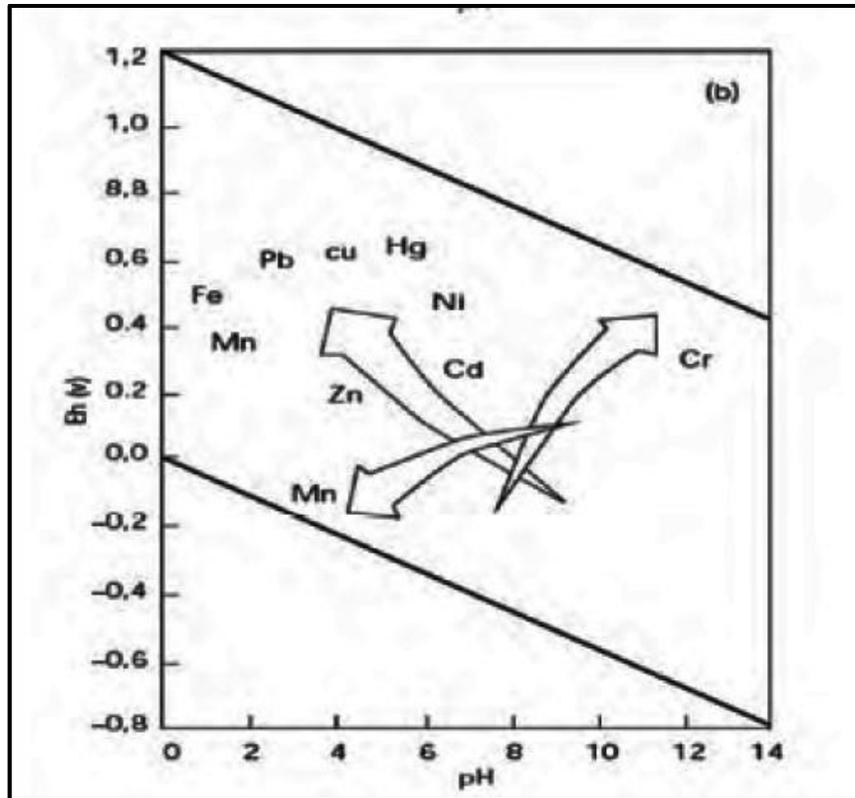


Figura 3. Solubilidad de metales pesados en función del pH y del Eh (En ausencia de materia orgánica disuelta sólida); (b) tendencia de incremento de la solubilidad. Fostner. 1987citado por (Callirgos, 2014).

2.4.2. Potencial de Hidrogenación

El pH en el suelo es la medida de la cantidad de ácidos o alcalinidad que contiene. Este tiene mucha influencia sobre sus propiedades químicas, físicas, y biológicas que afectan al crecimiento de cultivo. Además, este afecta totalmente los procesos biológicos, incluyendo el desarrollo de la planta reacciones como acidez y alcalinidad son indicadores de su supervivencia. El pH expresa la concentración efectiva de iones H en solución del suelo en términos de peso equivalente por litro de solución Ver tabla 3.

Según Galán & Romero (2008) indica que “La mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido porque son menos fuertemente adsorbidos, excepto As, Mo, Se y Cr que son más móviles a pH alcalino”.

Tabla 3: *Clasificación de suelos de acuerdo a su pH*

pH	Evaluación
<4,5	Extremadamente ácido
4,5 - 5,0	Muy fuertemente ácido
5,1 -5,5	Fuertemente ácido
5,6 - 6,0	Medianamente ácido
6,1 - 6,5	Ligeramente ácido
6,6 - 7,3	Neutro
7,4 - 7,8	Medidamente Básico
7,9 - 8,4	Básico
8,5 - 9,0	Ligeramente alcalino
9,1 -10,0	Alcalino
>10,	Fuertemente alcalino

FUENTE: Manual de prácticas de Suelo (Carbo & Bustinza, 2008).

2.4.3. Materia orgánica

La materia orgánica está conformada por raíces, residuos de origen vegetal y animal en diferentes estados de descomposición. Esta reacciona con los metales creando complejos de cambio o quelatos. Además, favorece la estructura del suelo, le permite absorber agua y retención nutrientes (N, P, S y otros) también suministra energía a los microorganismos, sin ella no habría actividad biológica, ni descomposición. La absorción puede ser tan enérgica que queden estabilizar, como el Cu o que se originen quelatos muy estables como el Pb y Zn. En muchos situaciones se crean complejos de organometálicos, lo que ayuda a la solubilidad del metal, la disponibilidad y dispersión porque consiguen degradarse por los organismos del suelo. Esto conduce a una persistencia de la toxicidad (Galán & Romero, 2008) ver Tabla 4.

Tabla 4: *Contenido de materia orgánica en suelos*

Nivel	Contenido %
Bajo	menos de 2
Medio	2 - 4
Alto	más de 4

FUENTE: Manual de prácticas de Suelo (Carbo & Bustinza, 2008).

2.4.4. Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad del intercambio catiónico esta en manos de la valencia y del radio iónico hidratado del metal, del tipo de minerales de la arcilla, de la materia orgánica. A mayor dimensión y menos valencia, menos continuamente quedan retenidos. Respectos a los minerales de la arcilla la retención es mínima para los minerales del grupo de caolín baja para las illitas, altas para las esmegotitas y máxima para las vermicuilitas (Galán & Romero, 2008).

El poder catiónico parte de las arcillas se identifican por tener cargas eléctricas negativas en su superficie. Estas constituyen un freno al movimiento de los cationes metálicos en la solución del suelo. Además, hacen que los metales persistan por más tiempo en el suelo y disminuyen su solubilidad y biodisponibilidad (Kabata & Mukherjee, 2007) citado por (Callirgos, 2014).

2.4.5. Conductividad eléctrica (CE)

Es un índice de la concentración total de sales disueltas en agua o una solución y su medida se basa en el principio de que la corriente eléctrica transmitida por una solución que contenga sales, aumentará a medida que la concentración de sales en solución aumente (Delgado & Casanova, 2005) Ver tabla 5.

Tabla 5: *Clasificación de suelos por su conductividad Eléctrica*

Clase	d S/m (mmhos / cm	Categoría de suelos para crecimiento de Plantas
No salino	0 - 2	normales
Muy ligeramente salino	2 - 4	normales
Ligeramente Salino	4 - 8	salino
Moderadamente salino	8 - 16	salino
Fuertemente salino	más que 16	salino

FUENTE: Soil survey manual, 1997

La CE es determinada con un conductímetro en el cual es necesario ajustar la temperatura en referencia 25°C. Así mismo, el aumento de salinidad puede incrementar la movilización de los metales y su retención por dos mecanismos. Primero, los cationes Na, K pueden reemplazar a metales pesados en lugares de intercambio catiónico. En la segunda fase, los aniones, cloruro y fosfato pueden formar compuestos más estables con metales como Pb, Zn, Cd, Hg (Galán & Romero, 2008).

2.4.6. Contenido y tipo de arcilla

Según Hernández A. , Juárez, Robledo, Díaz, & Cristobal (2016) señala que la arcilla une partículas de menor tamaño para formar agregados estructurales con cierta estabilidad. Cuanto más arcilla tenga el suelo, mayor número de agregados tendrá. La influencia de la arcilla sobre la formación de la estructura se debe a su acción cementante y a su propiedad de hinchamiento y contracción debido a los cambios de humedad.

2.4.7. Presencia de cationes y aniones en la solución suelo

Los solutos presentes en el suelo como sales compuestas por los aniones H^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ (y, a niveles más bajos, como sales de Fe^{2+} , Mn^{2+} , y Al^{3+}) y los aniones HCO_3^- , CO_3^{2-} , HSO_4^- , SO_4^{2-} , Cl^- , F^- . Los cationes Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} están generalmente presentes en formas hidrolizadas o enlazados con sustancias húmicas. Algunos aniones pueden estar enlazados con H^+ .

2.4.8. Enmienda

Es un material o sustrato que al ser adicionado en el suelo aumenta la estabilidad de los agregados y la capacidad de conservación de agua, incrementa la capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Lobos, 2008), puede crear las condiciones físicas y químicas favorables para la sobrevivencia y el desarrollo inicial de las plantas, mejora las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de los sustratos (Callirgos, 2014).

En este sentido, la adición de enmiendas podría optimizar las condiciones del suelo y contribuir a mejorar el establecimiento y crecimiento de las plantas, optimizando subsecuentemente los procesos de fitoestabilización y/o fitoextracción de metales pesados.

2.5. Efecto de los metales pesados: Plomo y Cromo en el medio suelo y Planta

2.5.1. Efecto del Plomo

En el suelo, el plomo está fuertemente retenido, ya sea por el humus, sobre todo si contiene grupos $-SH$, o por las fases sólidas arcillosas en donde se adsorbe químicamente (Domenech & Peral, 2006). Por reacciones de absorción y desorción el $Pb(II)$ puede ser retenido en la superficie de suelos arcillosos, oxidados, hidróxidos, oxihidroxidos y materia orgánica (USEPA, 2015). Los metales en forma de iones libres o en forma de complejos, pueden ser trasladados en el medio, pasando a través de los suelos y pueden introducirse

en el agua por lixiviación o formar precipitados en la fase sólida o por último, ser retenidos por difusión en los poros de los sólidos (Padmesh, Vijayaraghavan, Sekaran, & Velan, 2006).

Por otro lado, el plomo se adsorbe por la materia orgánica en el suelo. Si el suelo tiene alto porcentaje de carbonato de Ca, se forma carbonato de Pb y disminuye la absorción por las plantas (Schenquer, Mongiello, & Acosta, 2004). Por tanto, la sustitución de los cationes inorgánicos intercambiables de la montmorillonita por ligandos orgánicos da lugar en la mayoría de los casos a una reducción de la capacidad adsorbente de las arcillas para el Pb (II), coincidiendo con resultados obtenidos por Celis (2000).

En el suelo, el plomo se encuentra especialmente en forma de Pb^{+2} , también es conocido su estado de oxidación +4. No realiza un papel esencial en las plantas; la absorción, en caso de presentarse, es de un modo pasivo, la tasa de absorción se reduce al aumentar el pH ($PbCO_3$ es insoluble) y por bajas temperaturas. El Pb a pesar de ser soluble en el suelo, es absorbido principalmente por los pelos de las raíces, y es almacenado en un grado considerable en las paredes celulares, esta absorción varía significativamente en relación con la concentración presente en los suelos, así como por las varias formas en que el Pb se presenta. La absorción vegetal de este metal se da principalmente por la vía estomálica. Además, en suelos contaminados por plomo, este generalmente se localiza en la zona más superficial debido a que en esta zona se acumula la materia orgánica con la cual forma quelatos. El Pb (II) tiene afinidad por el grupo $COOH$ (Guzmán, 2007).

Bajo ciertas condiciones el Pb es móvil en la planta y las formas precipitadas en las células del plasmalema se transportan y depositan en los tejidos de las plantas. La variación de los contenidos de Pb en las plantas se debe a anomalías geoquímicas, contaminación, variaciones estacionales, genotipos y habilidad para acumular al elemento. El Pb presenta posible antagonismo con el Zn y sinergismo con el Cd (Kabata y Pendias, 1989, mencionado por (Bautista, 1999). Tal como menciona Alvarado, Dasgupta, Ambriz, Sanchez, & Villegas

(2011), cuando el plomo se encuentra actualmente en el suelo, puede lograr entrar en la raíz a través de la difusión pasiva. Además, respecto a la absorción de Pb en plantas, se ha demostrado que la mayor parte se queda en las raíces (Kumar *et al.* 1995, mencionado por (Alvarado, Dasgupta, Ambriz, Sanchez, & Villegas, 2011). La retención de Pb en las raíces se basa en la unión de Pb a los sitios de intercambio iónico en la pared celular (Gaur y Andholeya, 2004, mencionado por (Alvarado, Dasgupta, Ambriz, Sanchez, & Villegas, 2011).

El Pb a pesar de ser soluble en el suelo, es absorbido principalmente por los pelos de las raíces, y es almacenado en un grado considerable en las paredes celulares, esta absorción varía significativamente en relación con la concentración presente en los suelos, así como por las varias formas en que el Pb se presenta. La absorción vegetal de este metal se da principalmente por la vía estomática. Bajo ciertas condiciones el Pb es móvil en la planta y las formas precipitadas en las células del plasmalema se transportan y depositan en los tejidos de las plantas. La variación de los contenidos de Pb en las plantas se debe a anomalías geoquímicas, contaminación, variaciones estacionales, genotipos y habilidad para acumular al elemento. El Pb presenta posible antagonismo con el Zn y sinergismo con el Cd (Kabata & Mukherjee, 2007).

Existen dos componentes principales mediante los cuales puede llevarse a cabo la fitorremediación de suelos contaminados con Pb. La fitoestabilización comprende cuando, el Pb es inmovilizado en el suelo por las raíces de la planta y la fitoextracción, en la que el Pb es tomado por la raíz y transportado a la parte aérea (Mucciarelli, Berteza, Cozzo, Scannerini, & Gallino, 1998). La mayoría de las plantas que absorben el Pb (sin intervención humana) son las plantas exclusoras (E) las cuales absorben y almacenan los metales pesados casi exclusivamente en sus raíces (Baker, 1981). Por esta razón los procesos en la rizósfera contribuyen de manera transcendental en la fitorremediación.

2.5.2. Efecto de Cromo

El cromo está presente en el suelo fundamentalmente como óxido insoluble y su movilidad es baja. Para el cromo (III) se prevé una adsorción rápida e intensa en el suelo, en particular por los óxidos de hierro y manganeso, los minerales de arcilla y la arena. La movilidad en el suelo del cromo soluble depende de las características de absorción de dicho suelo. El Cr se encuentra en el suelo principalmente como Cr⁺³ y en estructuras minerales, o forma mezclas con óxidos de Fe⁺³. El Cr (VI) es la forma más inestable bajo condiciones normales en el suelo. El Cr presenta posibles antagonismos con el Co, B, V y W (Kabata & Mukherjee, 2007).

Su química en el suelo es, aún, poco conocida. Se ha comprobado que al añadir a suelos con pH comprendido entre 4,7 y 7,4 soluciones de Cr (IV) en forma de cromato potásico, el Cr pasó rápidamente a formas insolubles con las propiedades de un oxihidróxido mixto de Cr (III) y Fe (III). Se ha sugerido que la reducción depende de la presencia de compuestos orgánicos que actúen como donadores de electrones. Parece ser que la forma estable en la solución del suelo es Cr (III), aún a concentraciones muy bajas. Así que, aunque el Cr (VI) es mucho más fitotóxico que el Cr (III), se reducirá a Cr (III) al aportarlo a suelos aerobios. La velocidad de reducción es más lenta en suelos básicos que en los ácidos pero, aun en aquéllos, el Cr (IV) puede reducirse durante el curso de una campaña. Eary & Rai (1989) demostraron que incluso pequeñas cantidades de Fe (II) presente en la hematita y biotita puede reducir Cr (VI) a Cr (III), lo que resulta en la precipitación de (Fe, Cr) (OH)₃. Dependiendo de la naturaleza de la forma en que se encuentre el Cr, es decir como Cr (III) o Cr (VI), y del pH del suelo se puede incrementar o reducir su adsorción sobre los coloidales del suelo, por lo general, la adsorción de Cr(III) se incrementa al aumentar el pH, mientras que la adsorción del Cr(VI) incrementa con la disminución del pH, debido a, las cargas que se generan en el suelo por el cambio de

pH cuando se habla de suelos con carga variable. Griffin, Ak, & Frost (1977) mostraron que la adsorción de Cr (VI) por caolinita y montmorillonita aumenta con la disminución del pH.

Los mecanismos que intervienen en la absorción y translocación del Cr en las plantas no son bien conocidos debido, en gran medida, al desconocimiento de las formas iónicas presentes en los diferentes sistemas. Hay pruebas, sin embargo, de que el Cr (VI) es reducido a Cr (III) entre la superficie de las raíces y la parte aérea y que, independientemente de la forma en que se aplique, la mayor parte del Cr es retenido en las raíces. En casi todos los estudios realizados con este elemento, se ha comprobado que el contenido en la planta es inferior a 1 ó 2 ug.g-1 de materia seca, incluso en los casos en que se presentan síntomas de toxicidad, aunque determinadas especies adaptadas a suelos desarrollados a partir de rocas ultrabásicas acumulan y son tolerantes al Cr y al Ni (Wild & Russell, 1992).

Las plantas y los animales vivos absorben mejor la forma hexavalente que la trivalente, pero una vez absorbida, la forma hexavalente se reduce al estado trivalente, que es más estable (Organización Mundial de la Salud, 2009). El contenido de este elemento en las plantas está controlado principalmente por el Cr soluble en los suelos, usualmente se ha observado un alto contenido de este elemento en raíces más que hojas y tallos, mientras que las concentraciones menores se encuentran en granos. La forma más disponible para las plantas es Cr (VI) que en condiciones anaerobias se transforma a Cr (III) y precipita. En el suelo, también se presenta la reducción de Cr (VI) a Cr (III) por la materia orgánica edáfica aún en pH alcalino y la oxidación de Cr (III) a Cr (VI) en presencia de MnO₂ (Bautista, 1999).

El cromo en su raíz almacena las cationes de Cromo III o IV independientemente de su estado de oxidación. Este se debe al proceso de difusión en el medio, mediante un flujo masivo y por intercambio catiónico. La raíz posee cargas negativas en sus células gracias a la presencia de grupos carboxilo del ácido péptico. Estas interaccionan con las cargas positivas de los metales pesados presentes en el suelo, se ha demostrado la sretención de metales

pesado en la pared celular por su estructura de lignina y celulosa (Torres, Cumana, Torrealba, & Posada, 2010).

2.6. Fitorremediación

La fitorremediación consiste en usar plantas para mejorar un problema de contaminación orgánica e inorgánica en el suelo o las aguas. Se basa en realizar prácticas agronómicas para eliminar, retener, disminuir, la toxicidad de los contaminantes de suelo. Moreno (2010) manifiesta que a finales de los años 90 aparecieron frecuentes revisiones y artículos sobre fitorremediación de suelos que se describe a continuación.

Según Sierra (2006) la fitorremediación es una solución para la limpieza de sitios contaminados por metales orgánicos e inorgánicos; sin embargo, tiene una serie de limitaciones, además, se emplean plantas para estabilizar, transferir, descomponer y degradar contaminantes del suelo, sedimentos y agua como solventes, plaguicidas, hidrocarburos para hacerlo más disponibles para la planta.

La fitorremediación utiliza las plantas para remover, reducir, transformar, volatilizar ciertos contaminantes. Las plantas que acumulan metales pesados reciben el nombre de hiperacumuladoras. Por definición estas plantas deben acumular al menos 100 µg/g (0.01% peso seco) de Cd y As; 1000 µg/g (0.1 % peso seco) de Co, Cu, Cr, Ni y Pb; y 10 000 µg/g (1.0 % peso seco) de Mn (Reeves et al. citado por (Delgadillo, Gonzáles, Prieto, Villagómez, & Acevedo, 2011).

Delgadillo, Gonzáles, Prieto, Villagómez, & Acevedo (2011) señala que la fitorremediación consiste en usar plantas para mejorar un problema de contaminación orgánica e inorgánica en el suelo o las aguas. Se basa en realizar prácticas agronómicas para eliminar, retener, disminuir, la toxicidad de los contaminantes del suelo.

Las plantas metabolizan los compuestos en tres fases: fase I involucra la conversión/activación) oxidación e hidrólisis) de los compuestos orgánicos lipofílicos, fase II

Permite la conjugación de los metabolitos de la fase I a una molécula hidrofílica endógena como los azúcares, aminoácidos y glutatión y en la fase III promueve la compatibilización de los compuestos en las vacuolas o la formación de enlaces en las paredes celulares. Algunas plantas empleadas con fines de fitoestabilización son: *Hyparrhenia hirta* (Pb); *Zygophyllum fabago* (Zn); *Lupinus albus* (Cd, As); *Anthyllis vulneraria* (Zn, Pb, Cd); *Deschampsia cespitosa* (Pb, Cd, Zn); *Cardaminopsis arenosa* (Cd, Zn); *Hordeum vulgare*, *Lupinus angustifolius* y *Secale cereale* (As); *Lolium italicum* y *Festuca arundinaceae* (Pb, Zn); y *Brassica juncea* (Cd, Zn, Cu, Mn, Fe, P) Ver Tabla 6.

Aunque Zhang, Zheng, & Sharp (2010) indica que las zonas tropicales la estación de crecimiento son suficientes para la fitorremediación mientras que para las zonas templadas, frías la especie a remediar podrían maximizar la temporada de tal forma que maximizaría la eximición de los contaminantes.

Tabla 6: *Mecanismo de Fitorremediación*

PROCESO	MECANISMO	CONTAMINANTES
Fitoestabilización	Complejación	orgánicos e inorgánicos
Fitoextracción	Hiperacumulación	inorgánicos
Fitovolatilización	Volatilización a través de las hojas	orgánicos e inorgánicos
Fitoinmovilización	Acumulación de Rizósfera	orgánicos e inorgánicos
Fitodegradación	Uso de plantas y microorganismo	orgánicos
Rizofiltración	Uso de raíces para absorber contaminantes del agua	Orgánicos e inorgánicos

FUENTE: (Delgadillo, Gonzáles, Prieto, Villagómez, & Acevedo, 2011).

2.6.1. Mecanismos de fitorremediación

Hay numerosos mecanismos por los cuales se pueden remediar suelos contaminados (Figura 4).

2.6.1.1. Fitoextracción

Es el uso de plantas para remover contaminantes inorgánicos principalmente Cu, Co, Fe, Mn, Ni y Zn que son los minerales esenciales. Sin embargo, otros como el Cd y Pb no poseen una actividad fisiológica pero también pueden ser capturadas. Un contaminante capturado no degradado rápida o completamente por la planta propicia la Fito acumulación (Lerma, 2006).

2.6.1.2. Fitoestabilización

Minimiza la expansión de los contaminantes debido a que tiene la habilidad de acumular en la raíces de la planta. “Algunas raíces ocasionan que el mineral se precipite reduciendo su biodisponibilidad”. La apropiada selección de plantas, cubierta vegetal y condiciones del suelo puede ser posible estabilizar ciertos contaminantes (Lerma, 2006).

2.6.1.3. Fitodegradación

Es el uso de plantas y microorganismos para degradar contaminantes orgánicos. Son las raíces junto con los microorganismos rizosféricos los que realizan este proceso. Existen cierto tipo de plantas como *Solanum Tuberosum* y *Raphanus Sativus* que contiene una enzima como peroxidasa que cataliza la oxidación (Chaney *et al.* 1997 citado por (Lerma, 2006).

2.6.1.4. Fitovolatilización

Las plantas convierten un contaminante en forma volátil por medio de su follaje, en asociación con microorganismos que convierte el Se en selenio-dimetil siendo menos tóxico.

2.6.1.5. Rizodegradación

Según Lerma (2006) el tratamiento biológico de un contaminante por el incremento de la actividad bacteriana en la rizósfera de ciertas plantas vasculares. Las plantas pueden modificar los ambientes geoquímicos proporcionando condiciones para el crecimiento de bacterias y hongos, degradar contaminantes orgánicos. La raíz permite la aeración del suelo estimulando la biodegradación aeróbica.

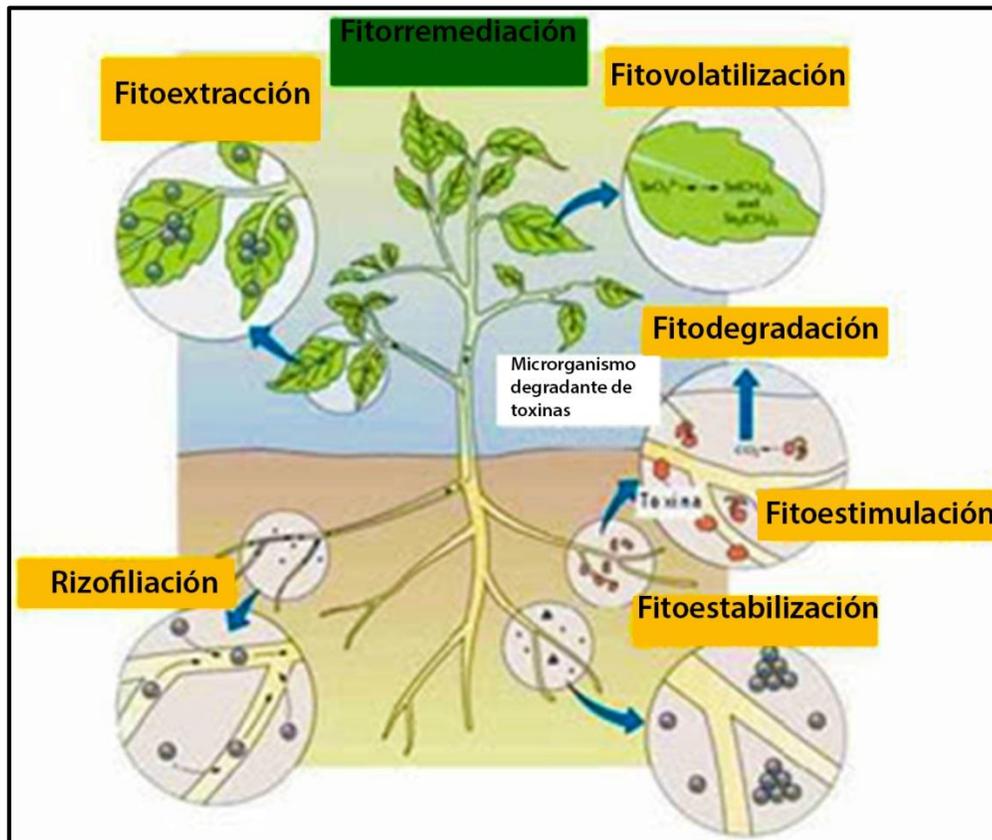


Figura 4. *Proceso implicados en la fitorremediación de suelos contaminados (Bernal, Clemente, Vasquez, & Walker, 2007).*

2.6.2. Especie Vegetal actuante en la fitorremediación

2.6.2.1. *Helianthus annuus*: “Girasol”

2.6.2.1.1. Características biológicas y ecológicas

Según la Clasificación de Cronquist (1981) se clasifica de la siguiente forma: reino *Plantae*, división *Magnoliophyta*, clase *Magnoliopsida*, orden *Asterales*, familia *Asteraceae*, género: *Helianthus*, Especie *Helianthus annuus*. Se indica que algunas “especie perteneciente a las Asteraceas toleran altos niveles de metales pesados en comparación con algunos grupos taxonómicos” (Chico, Cerna, Rodríguez, & Guerrero, 2012) Ver tabla 7.

Tabla 7: Clasificación vegetal de *Helianthus annuus* (Girasol).

Especie vegetal	
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Asterales</i>
Familia	<i>Asteraceae</i>
Subfamilia	<i>Asteroideae</i>
Genero	<i>Helianthus</i>
Especie	<i>Helianthus annuus</i>
Nombre científico	<i>Helianthus annuus</i>
Nombre común	Girasol

FUENTE: (Cronquist, 1981)

En cuanto a exigencias edáficas y climáticas posee facilidad de manejo en su cultivo, se adapta a un amplio intervalo en la variación de temperatura de 21 a 24° C. Este depende de las características climáticas de cada región. El girasol no es una planta muy sensible a

variaciones de pH en el suelo, tolera desde 5,8 hasta más de 8. Además, no es una planta exigente en cuanto a calidad de suelo se refiere, crece en la mayoría de suelos, aunque prefiere suelos con textura arcilloso-arenosa.

Tiene la capacidad de acumular metales y responde con una alta biomasa radicular, sin embargo, con baja tolerancia al cromo. Por otro lado, tiene un potencial para Fito acumular Plomo en sus tejidos (Chico, Cerna, Rodríguez, & Guerrero, 2012). El girasol es reportado por su capacidad de acumular metales y responder con una alta biomasa radicular y con una baja tolerancia al Cromo comparado a otras plantas acumuladoras; además, el girasol tiene efecto Fito remediador a concentraciones de Uranio y Cadmio en sus tejidos principalmente tallo y raíz.

2.6.2.1.2. Reproducción de la especie *Helianthus annuus*

Melgares de Aguilar (2001) El medio de propagación de *Helianthus annuus* es a través de la inflorescencia, es un capítulo o cabezuela formada por un fondo o base medular (receptáculo discoidal) y su borde provisto de brácteas ampliamente sentadas que terminan en punta más o menos aguda y se disponen en círculos concéntricos (2 a 5) que se cubren entre sí. El diámetro de capítulo varía entre 10 a 40 cm. Los capítulos en vías de desarrollo recorren movimiento diario formando la superficie discoidal un Angulo recto con dirección a los rayos solares, este mecanismo llamado heliotropismo se manifiesta en la primera parte de floración haciendo una dirección de Este – Sur Este (ver Figura 5).

Las flores grandes de color amarillo que rodean al capítulo en su parte exterior consta de cinco petalos soldados a una única estructura en forma de lengüeta, carecen de anteras, pistilos y estilos, por lo que las flores marginales son estériles, no desempeñando ningún papel en la reproducción, salvo atraer abejas y otros insectos polinizadores.

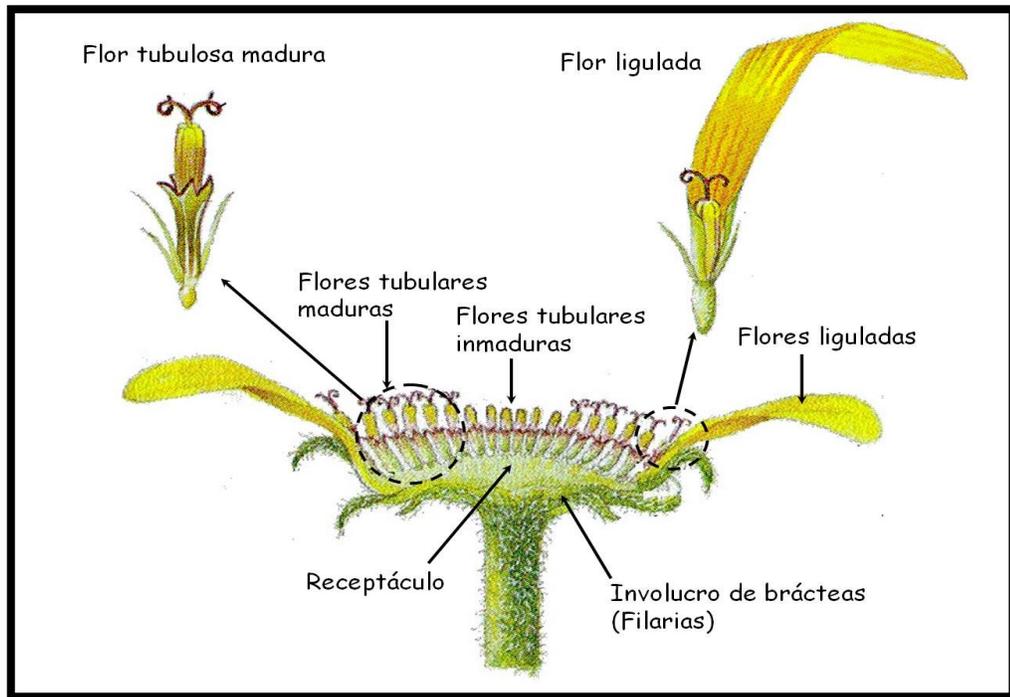


Figura 5. Inflorescencia del Girasol. Sección transversal con detalles de flores liguladas y tubulosas.

El *Helianthus annuus* florece de seis a veintiún días, la floración de las flores fértiles pasa sucesivamente por dos estadios “macho” y “hembra”. El primer día, al abrirse las flores son los órganos masculinos los primeros que aparecen y comienzan a emitir polen, este es el inicio del estadio de macho, por la tarde, o más generalmente al segundo día, el estigma emergerá entre un anillo de anteras, exponiendo su parte externa pegajosa (estadio hembra), simultáneamente hay regresión de las anteras a lo largo de la cual el polen es capturado por el estigma y se produce la fecundación. La longevidad del polen es de uno a diez días. Además cabe recalcar que la receptividad de los estigmas puede durar de 5 a 25 días.

2.6.2.2. Bioacumulación de los metales pesados en la materia seca radicular y foliar de *Helianthus annuus*

Según estudios los metales como el Pb, Zn, Cd se centraron en mayor cantidad en el tallo del girasol mientras que en sus hojas fue la menor parte que se concentraron los metales. Respecto a su raíz se concentró Cu, Ni, Mn en menores cantidades (Hernández A. E., Juárez, Robledo, Díaz, & Cristobal, 2016).

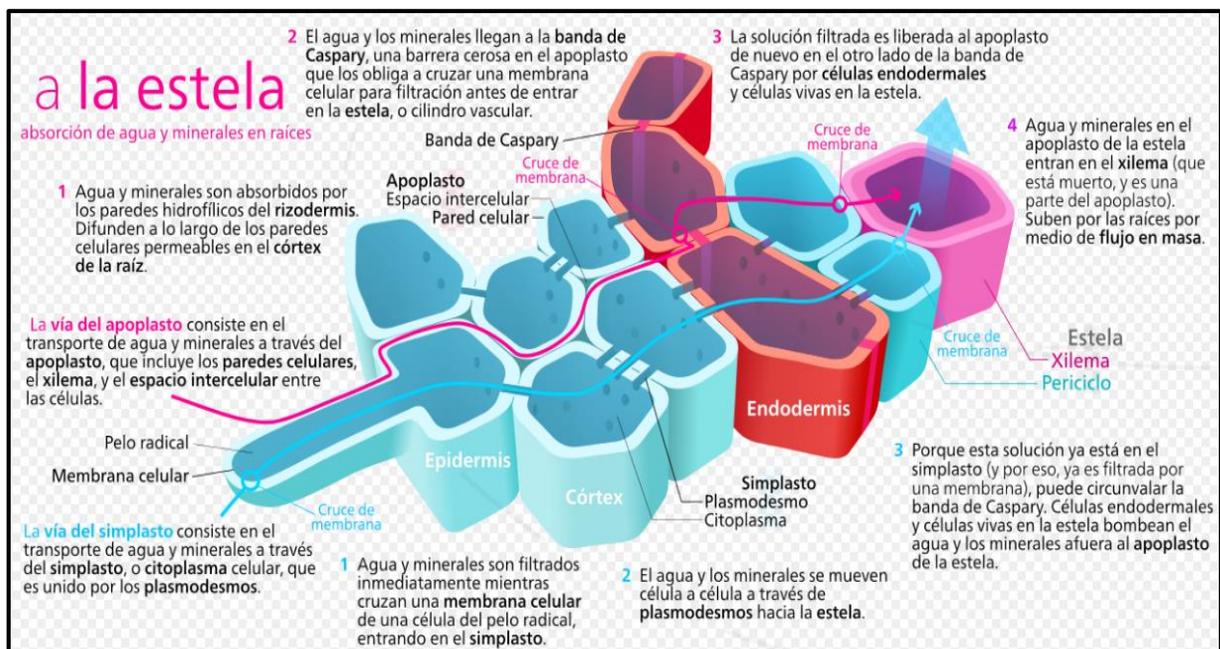


Figura 6. Diagrama de absorción de agua por raíces de una planta (Hernández-acosta, Juárez-santos, & Robledo-santoyo, 2016).

Por otro lado, hay otras investigaciones reportado por Garófalo, Estrella y Sena (2001) citado por (Hernández A. E., Juárez, Robledo, Díaz, & Cristobal, 2016) reporta que al estudiar el efecto de Cd, Cu y Zn en el desarrollo del girasol y la concentración de estos en todas las parte de la planta, los resultados obtenidos mostraron altas concentraciones de Cu en la raíz del girasol con respecto a las hojas y tallo.

2.6.2.2.1. Mecanismos para acumular los metales pesados

Navarro, Aguilar, & Lopez (2007) argumenta los mecanismos para acumular metales pesados en plantas se debe a una interacción entre el entorno tanto interior como exterior de la plantas (Figura 7). Las micorrizas son ciertos hongos del suelo que se encuentran en simbiosis con la raíz, es decir las raíces de unen con las hifas de los determinados hongos. La simbiosis proporciona nutrientes minerales y agua, sustratos energéticos y carbohidratos ya que la planta obtiene hongo del suelo y el hongo obtiene parte que viene del aire (Figura 7).

La raíz constituye la entrada principal de los metales por el proceso de flujo masivo, intercambio catiónico. Estas están cargadas negativamente y reaccionan con las cargas positivas de los metales pesados creando un equilibrio dinámico que facilita la entrada hacia el interior celular. Una vez unidas se transportan por la vía apoplastica y simplastica.

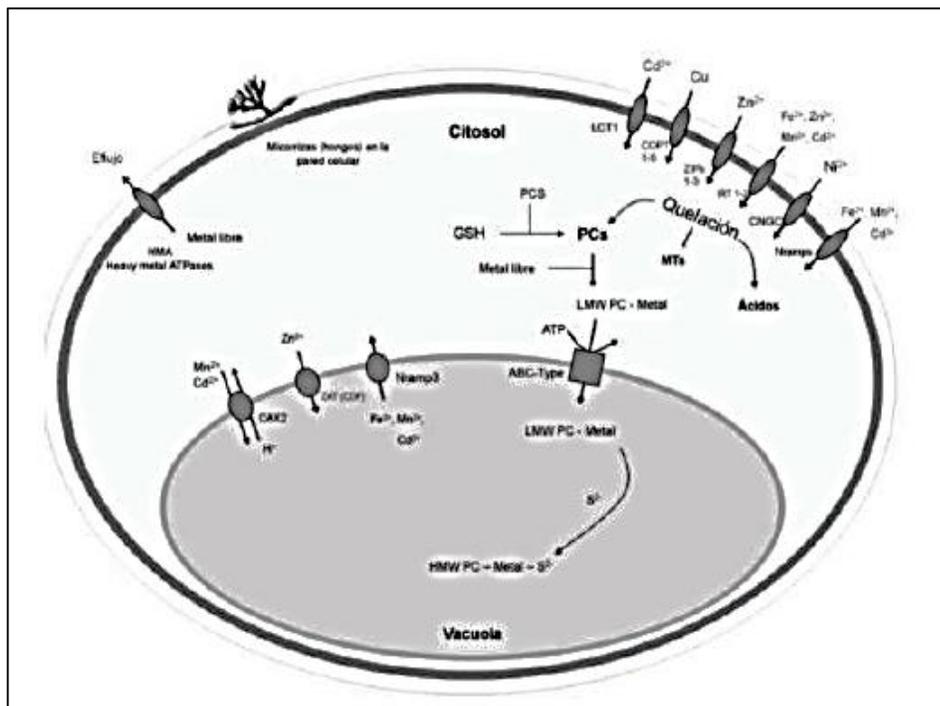


Figura 7. Interacción interna de una planta con los metales pesados (Navarro, Aguilar, & Lopez, 2007).



Figura 8. *Morfología de las raíces colonizadas por Ectomicorrizas* (Navarro, Aguilar, & Lopez, 2007).

La quelación uno de los metales pesados se refieren al proceso de complejacion, la interacción de un átomo central con un ion metálico con orbitales de valencia varios que pueden actuar como ácidos y otros como bases. El metal los rodea formando complejos. Algunos son capaces de formar múltiples enlaces de coordinación y se describen como biodentados y tridentados. La planta utiliza este mecanismo de complejación en el interior de la célula para detoxificar (amortiguar) los metales pesados, uniendo a ellos ligandos 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.

Según Saavedra (2007) el metal se rodea con un ion o molécula de átomo central para formar una completa coordinación. La planta utiliza este mayor este mecanismo de complicación en el interior de la célula para amortiguar los metales pesados. Los metales muestran gran afinidad por determinados ligandos, como sulfhídrico, radicales amino,

hidroxilo. Los ligandos que utiliza son básicamente aminoácidos y ácidos orgánicos más básicamente dos clases de péptidos: filoquelatinas y las metalotioneinas. Son polipéptidos de unos 70-75 aminoácidos con altos contenidos de cisteína, capaz de formar complejos, con cationes mediante el grupo sulfhidrilo. La proteína de esta molécula transporta los metales, por lo cual se cree que es esencial en la quelación de metales pesados.

2.6.2.2.2. Transporte de contaminantes inorgánicos

Los metales pesados “muestran una elevada tendencia a bioacumularse y biomagnificarse a través de su paso por las distintas cadenas tróficas. Según Winpenny, Heinz, & Koo-Oshima (2013) son 3 las fases del proceso por la cual las plantas incorporan y acumulan metales son las siguientes:

Fase I: Implica el transporte de los metales pesados al interior de la planta y después la interior de la célula. Llegan por difusión en el medio mediante el flujo masivo o por intercambio catiónico. Las raíz posee cargas negativas debido a la presencia de carboxilo interactuando con las cargas positivas de los metales pesados creando un equilibrio dinámico.

Fase II: Las especies metálicas son secuestradas mediante la unión con ligando, es decir es la unión de ion o molécula a un átomo de metal para formar un complejo de coordinación. Ejemplo los ácidos orgánicos pasan a ácidos oxálico y málico.

Fase III: Esta fase involucra la compartimentalización y detoxificación proceso por el cual el ion es retenido en la vacuola.

2.6.2.2.3. Procesos involucrados en la fitorremediación

Los procesos físicos y biológicos son el control hidráulico que consiste en usar plantas para una rápida absorción de grandes volúmenes de agua que deben ser contenidos, Fito degradación es la degradación de los contaminantes en los procesos metabólicos cuando son

absorbidos por las raíces a través de compuestos producidos por las plantas llamadas enzimas, Fito extracción “es la remoción del contaminante a través de raíces y su translocación en la parte aérea”, fitoestabilización es la inmovilización de un contaminante por adsorción a las raíces o precipitación en la rizósfera, La Fito volatilización es la absorción y transpiración de un contaminante, es decir, la liberación del contaminante o de una forma modificada del mismo a la atmósfera, La rizo degradación es la degradación del contaminante a través de la actividad microbiana en la rizósfera, La Rizo filtración es la adsorción o precipitación en las raíces o la absorción por las raíces de contaminantes que están en solución en la rizósfera (Casares, 2012).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El experimento se llevó acabo en el vivero “Mansión de la Universidad Peruana Unión, Carretera Central Km 19.5 Ñaña, distrito de Lurigancho-Chosica, departamento de Lima, Perú.

Los análisis de suelos y plantas se realizaron en el Laboratorio de Agua y Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego de la Universidad Nacional Agraria la Molina y en el Laboratorio de ciencias Químicas de la Universidad Peruana Unión.

3.2. Materias primas

Semillas de Girasol, La muestra de suelo contaminado de industria metalmecánica, ubicada en el sector de Nicolás de Piérola del Distrito de Ate, Lima. El suelo agrícola se obtuvo del sembrío de Lúcumo de la Universidad Peruana Unión en el distrito de Lurigancho – Chosica. Y por último Guano de Isla.

3.3. Equipos, Materiales e insumos

3.3.1. Equipos

- Laptop DELL CORE” i5
- Cámara fotográfica SAMSUNG de 16 megapíxeles
- Espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer mod. Analyst 100.
- Balanza analítica.
- Potenciómetro
- Bomba de vacío

- Conductímetro
- Fotometro

3.3.2. Materiales

Tabla 8: *Materiales para el proceso experimental.*

Materiales Escritorio	Materiales EPP	Materiales de Campo	Materiales de Laboratorio	Medidas
Calculadora	Botas de Hule PVC 40 cm de Altura	Wincha de 100 m	Fiola	50 ml
Lapiceros	Guantes quirúrgicos de látex natural de color crema	Barreno manual	Vaso precipitado	25 ml
Hojas bond	Mascarilla	Recipiente	Pipeta	10 ml
Tablero	Uniforme mandil	Tamiz	Piceta con agua destilada	10 ml
Cinta métrica	Guantes de jebe	20 Bolsa de Plástico de 5 kg	Bureta	
Plumón indeleble delgado		Plantas seleccionadas	Espátula	
Plumón		Balanza	Frascos	
Cinta de embalaje		Maceteros	Tubos de 10 ml ensayo	
		Baldes	Gradilla	
		Jarra con medidas	Soporte universal con pinza	
		Pico	Bureta	

Lampa	Pinzas
Sacos de Rafia	Fiola de 50 ml
	Papel filtro
	Embudo
	Bunchner

3.4. Metodología Experimental

3.4.1. Evaluación del Poder Germinativo

Inicialmente se realizó la evaluación de porcentaje de poder germinativo de *Helianthus annuus* mediante el tratamiento con agua, declarado por la Food And Agriculture Organization of the United Nations FAO. Ver figura 9.



Figura 9. Evaluación del Poder Germinativo de la Planta (FAO).

3.4.2. Análisis de metales pesado en suelo contaminado

Se procedió a hacer la caracterización del suelo contaminado en función a los resultados se determinó evaluar el comportamiento de Plomo y Cromo. Ver Tabla 12.

3.4.3. Preparación de Tratamientos

El experimento constó de 3 tratamientos (T2, T3, T4) y una muestra control (T1) cada uno de ellos incluyó tres repeticiones haciendo un total de 12 macetas evaluadas durante toda la fase experimental. En cada una de las macetas se sembró 3 semillas de la especie *Helianthus annuus* para asegurar su crecimiento, como también reducir la probabilidad de perder un individuo por muerte durante la etapa de germinación, seguidamente se procedió al raleo dejando una plántula para su evaluación.

A cada una de las 12 macetas se adicionó suelos contaminados con metales pesados provenientes de la industria metalmecánica, guano de isla, suelo agrícola; obteniendo una cantidad total de 4 kg de por macetero, especificado en la Tabla 10 por porcentaje, y posteriormente siendo evaluados en un periodo de 2 meses o 60 días. Además se sembró, la planta en estudio en 2 maceteros con suelo agrícola para comparar su crecimiento Ver Figura 10.

Tabla 9: *Tratamientos Aplicados*

Especie	Tratamiento	Forma de Aplicación de Biosólidos
	T1	Testigo Control
<i>Heliantus</i>	T2	Mezcla
<i>Annuus</i>	T3	Mezcla
	T4	Mezcla

El tratamiento (T1) corresponde al Tratamiento control (suelo contaminado), los siguientes tratamientos (T2, T3, T4) contiene suelo contaminado, suelo agrícola, guano de isla en diferentes proporciones de acuerdo al tratamiento. Ver tabla 10.

Tabla 10: Tipos de enmiendas incluidos en los tratamientos.

Especie	Tratamiento	Descripción	Proporción
<i>Helianthus Annuus</i>	T1	Suelo contaminado	100% suelo contaminado
	T2	Suelo contaminado + suelo agrícola + guano de isla	85% suelo contaminado + 10% suelo agrícola + 5% guano de isla
	T3	Suelo contaminado + suelo agrícola + guano de isla	70% suelo contaminado + 25% suelo agrícola + 5% guano de isla
	T4	Suelo contaminado + suelo agrícola + guano de isla	55% suelo contaminado + 40% suelo agrícola + 5% guano de isla

FUENTE: Adaptado de Callirgos (2014).

Luego se realizó la caracterización fisicoquímica de cada sustrato siendo tiempo inicial (t: i) posteriormente se realizó la caracterización de las mezclas (t: f) según el tipo de tratamiento (T2, T3, T4).



Figura 10. *Maceteros empleados para la siembra de Helianthus annuus*

3.4.4. Métodos de análisis para los parámetros en estudio

Los métodos de análisis se realizaron para los parámetros inorgánicos y fisicoquímicos que fueron analizados pre (materia orgánica, pH, CIC, CE, análisis mecánico: Arena, Limo, arcilla, textura; P, K, CaCO₃, cationes cambiabiles) y post tratamiento (plomo, cromo, pH, CE) del proyecto.

3.4.5. Parámetros fisicoquímicos e inorgánicos

Antes de sembrar la especie en cada tratamiento, se realizó una caracterización inicial en cada tratamiento luego de realizar las respectivas mezclas mencionadas en el Tabla 11.

En el Tabla 11, muestra la caracterización fisicoquímica e inorgánica que se requiere como también el método que se empleó.

Tabla 11: Metodología de laboratorio para análisis de suelos contaminados.

Análisis de suelo Previo y posterior a la experimentación			
Especie	Tratamiento	Parámetro	Método
		Conductividad Eléctrica	Lectura de extracto de relación suelo agua 1:1 y extracto de la pasta saturada
		pH	Método de potenciómetro, relación suelo-agua 1:1 y en pasta saturada
		Análisis mecánico	Textura por el método de hidrómetro
		Calcáreo total	Método Gaso-Volumétrico
		Materia Orgánica	Método de Walkley y Black %Mo =% C x 1,724
		Nitrógeno total	Método Micro Kjeldahl
Helianthus Annuus	T1, T2, T3, T4	Fosforo	Método de Olsen Modificado, Extracto, NaHCO ₃ 0.5 M, 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 (Ca ⁺² , Mg ⁺² , k ⁺ , Na ⁺)	Espectrofotometría de Absorción atómica
		Pb, Cr, Cd	Espectrofotometría de Absorción atómica

FUENTE: Laboratorio Agrícola de Agua, Suelo y Medio Ambiente-LAASMA

Con los resultados se evidenciaron la variación de concentración, indicando que fueron removidos los metales pesados y finalmente se compararon los resultados para determinar la eficiencia de la especie con las enmiendas efectivas.

3.4.6. Características de Material Contaminante

Se utilizó suelo contaminado procedente de industrias metalmecánicas del Sector Nicolás de Piérola del Distrito de Ate Vitarte Ubicado en Lima, en donde la génesis de los suelos se caracteriza por presentar contenidos de gran proporción de plomo y Cromo, Cadmio Ver Tabla 12.

Tabla 12: *Características del suelo contaminado.*

Suelo Contaminado		
Parámetro	Unidad	Concentración
CE	dS/m Relación 1:1	10.5
Arena	%	69.88
Limo	%	22.92
Arcilla	%	7.2
Textura		Franco Arenoso
pH	Relación 1:1	7.8
MO	%	5.57
P	ppm	63.16
K	ppm	1240
CaCO₃	%	8.18
CIC total	C mol (+) / Kg	10.24
Ca⁺⁺	C mol (+) / Kg	1
Mg ⁺⁺	C mol (+) / Kg	0.48
Na⁺	C mol (+) / Kg	1.67
K⁺	ppm	
Pb	ppm	137.7
Cr	ppm	115.7

Cd	ppm	<0.012
----	-----	--------

3.4.7. Características de Suelo Agrícola

Se utilizó suelo agrícola procedente del campus de lúcumo de la Universidad peruana Unión, el cual presentaba valores altos de Plomo (96.36 ppm/Kg) pasando los niveles de ECA suelo mediante el Decreto Supremo N°002-2013-MINAM Estándares de Calidad Ambiental para Suelo. En la Tabla 13, se muestra la caracterización realizada al sustrato previo a la mezcla y a la etapa de experimentación.

Tabla 13: *Características del suelo agrícola utilizado.*

Suelo Agrícola		
Parámetro	Unidad	Concentración
CE	dS/m Relación 1:1	0.65
Arena	%	45.88
Limo	%	36.92
Arcilla	%	17.2
Textura		Franco
pH	Relación 1:1	7.51
MO	%	3.89
P	ppm	54.89
K	ppm	496
CaCO ₃	%	0.37
CIC total	C mol (+) / Kg	22.4
Ca ⁺⁺	C mol (+) / Kg	19.62
Mg ⁺⁺	C mol (+) / Kg	1.87
Na ⁺	C mol (+) / Kg	0.13
K ⁺	ppm	0.78
Pb	ppm	96.36
Cr	ppm	<0.012
Cd	ppm	<0.05

3.4.8. Características de Guano de isla

Como parte de las enmiendas se utilizó Guano de Isla adquirido en Distribuciones Agrícola Villar en una paquete con una cantidad de 1 kg, con las siguiente características que se ilustran en la Tabla 14.

Tabla 14: *Características del Guano de Isla utilizado.*

Guano de isla	
Parámetro	Concentración
Nitrógeno	14%
Fosforo	18%
Potasio	3%
pH	6.65%
Boro	0.10%
Magnesio	3.00%
Cobre	0.40%
Hierro	0.65%
Manganeso	0.26%
Zinc	0.51%
Molibdeno	0.00%

3.5. Evaluación del efecto de las enmiendas sobre el crecimiento de la especie vegetal

Durante todo el proceso experimental se realizaron: la medición de altura de planta con una regla milimetrada desde el nivel del sustrato hasta el ápice de cada una, Ver Figura 11,

registro fotográfico, con la finalidad de comparar la vitalidad vegetal y en la cosecha se pesaron cada una de las plántulas. Posteriormente estas fueron llevadas al laboratorio para su análisis.



Figura 11. *Evaluación de la altura de la Planta.*

3.6. Variables de Estudio

3.6.1. Variables Independientes o Causales

Explica, condiciona o determina el cambio en los variable dependiente y se refiere a aquellos componentes que origina la alteración de las variables dependientes. Para el presente estudio la variable independiente corresponden a suelos y enmienda.

3.6.2. Variables Intervinientes o Desconcertante

Se interpone entre las variables antes mencionadas, no es objeto de estudio pero puede debilitar o intensificar la relación aparente el problema y una posible causa. Además es aquella que intervendrá en efecto de las variables dependientes. Las variables intervinientes corresponden a:

- a) Clima
- b) Calidad de agua de riego

3.6.3. Variables Dependientes o Efecto

Es afectada por la presencia o acción de la variable independiente, se usa para medir o describir el problema en estudio; es decir aquellas características que sufren alteraciones por efecto de las variables independientes. Las variables dependientes corresponden a: la técnica de fitorremediación.

- a) Concentración de metales pesados
- b) Conductividad eléctrica, pH.
- c) Crecimiento y masa de la planta.

3.7. Formulación de Hipótesis

- H1: La capacidad fitorremediadora de la especie *Helianthus annuus* es mayor mediante la incorporación de enmienda a suelos de industrias metalmecánicas contaminados por metales pesados.
- H2: La adición de enmienda tienen efecto positivo sobre: pH, Conductividad eléctrica, y la disminución de concentración de metales pesados: Pb, Cr, Total, en el suelo en estudio.

- H3: La adición de enmienda tienen efecto positivo sobre el crecimiento y la supervivencia de *Helianthus Annuus*.

3.8. Estudio y diseño de Investigación

3.8.1. Tipo y diseño de la Investigación

Según Hernandez, Fernandez, & Baptista (2010) el diseño de investigación se refiere al plan o estrategia concebida para obtener la información que se requiere en una investigación, así mismo el diseño de investigación lo clasifica en dos tipos: no experimental y experimentales. Este último lo divide de acuerdo a las categorías de Campbell en: pre-experimentos, cuasi experimentos y experimentos puros. La investigación no experimental se subdivide en diseños transversales y longitudinales. Los transversales recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único, siendo su propósito describir variables y analizar la incidencia e interrelación en un momento dado. Mientras que los longitudinales los datos se recolectan a través del tiempo, por un determinado tiempo.

El proyecto está orientado a una investigación cuantitativa debido a que trata un problema medible, de diseño pre experimental, pues no existe manipulación de variable independiente o grupos de contraste y de tipo secuencial, porque sigue una serie de procesos para llegar al objetivo. Por otro lado, es probatorio porque necesita análisis fisicoquímicos y mediciones en campo para obtener resultados.

3.8.2. Diseño del Experimento

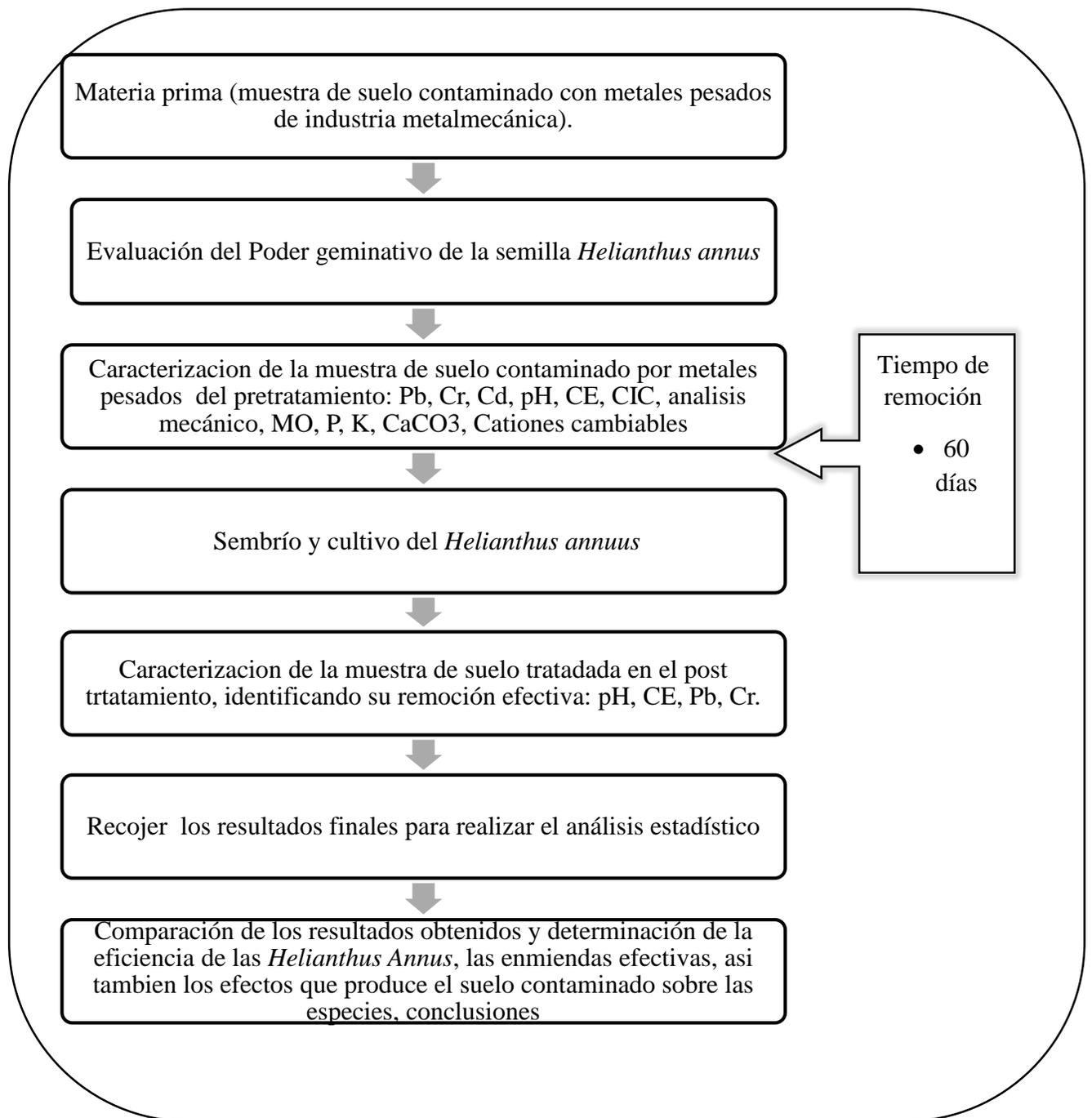


Figura 12: Procedimiento del diseño del experimento

3.9. Análisis Estadístico

El primer paso consistió en someter los datos a los supuestos de normalidad y de homogeneidad de las varianzas, identificando que los datos no se distribuyeron de forma normal, se optó en la realización de análisis no paramétrico debido a que el tamaño de la muestra de los tratamientos es menor a 30 y por qué no necesita de supuestos sobre las poblaciones originales tan complejos como los Paramétricos. Utilizándose la prueba de Kruskal Wallis, prueba para varias muestras independientes y para identificar si los tratamientos son idénticos o alguna de ellas presenta promedios mayores que la otra. Además, representa una excelente alternativa al ANOVA de un factor completamente aleatorizado y a su vez se aplica, si el nivel de medida de los datos puede no ir más allá del ordinal.

La prueba aporta la estimación de las medianas sobre si existen diferencias significativas en las medianas de los tratamientos y si esta diferencia se verá influenciada por la aplicación de enmiendas, la dosis o la interacción de ambos factores.

Luego de realizar el análisis de prueba Kruskal wallis, en aquellos casos donde se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos con un nivel de $p < 0.05$, para especificar cuál de los tratamientos presentaron diferencias. Se utilizó el Software SPSS versión 21.0.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Concentración final de metal en el suelo

4.1.1. Plomo Final

Con respecto a la concentración de Plomo final se demuestra que en los tratamientos tiene una prueba de significancia de 0.041 siendo menor a ($p < 0.05$) por el cual se concluye que existe diferencia entre los tratamientos T4, T3, T2, T1, Ver tabla 15. Con la siguiente tabla 31, se observa que el T4, es aquel con menor cantidad de concentración final de plomo siendo de 46.09 ppm de Pb seguido por el Tratamiento T3, T1, T2 los cuales son 75.54 ppm de Pb; 90.07 ppm de Pb y 137.39 ppm de Pb respectivamente.

Además, se demuestra que las enmiendas tienen efectos positivos en el suelo y como consecuencias dan condiciones adecuadas a la Planta. Árevalo de Gauggel & Castellano (2009) indica que la enmienda mejora las condiciones físicas y biológicas de la estructura del suelo, porosidad y almacenamiento de agua.

Tabla 15: *Test Statistics de Kruskal Wallis de Concentración de Plomo Final*

Estadísticos de contraste ^{a,b}	
	Concentracion_Plomo_Final
Chi-cuadrado	8.231
gl	3
Sig. Asintót.	.041

a. Prueba de Kruskal-Wallis
b. Variable de agrupación: Tratamiento

Tabla 16: Rangos de Concentración Final de Plomo en el Suelo

Rangos			
Tratamiento		N	Rango promedio
Concentracion_Plomo_Final	T1	3	7.33
	T2	3	10.33
	T3	3	6.33
	T4	3	2.00
	Total	12	

4.1.2. Cromo Final

En la Tabla 17, se ha demostrado que en la concentración final de Cromo, no existe diferencia significativa entre tratamientos ya que su significancia es mayor a 0.05; sin embargo, se observa en la tabla 32, que el tratamiento T1 y T3 fueron los que tuvieron menor concentración como; 46.18 ppm de Cr; 47.49 ppm de Cr respectivamente como se observa en la Figura 14. Esto demuestra que la concentración en el T1 existió la bioacumulación de metal en la planta a gran escala generando toxicidad.

Tabla 17: Test Statistics de Kruskal Wallis de Concentración de Cromo Final

Estadísticos de contraste ^{a,b}	
	Concentracion_Cromo_Final
Chi-cuadrado	4.385
gl	3
Sig. Asintót.	.223

a. Prueba de Kruskal-Wallis
b. Variable de agrupación: Tratamiento

Tabla 18: Rangos de Concentración Final de Cromo en el Suelo

Rangos			
Tratamiento		N	Rango Promedio
	T1	3	4.67
	T2	3	8.67
Concentracion Cromo Final	T3	3	4.00
	T4	3	8.67
	Total	12	

Según Mancera & Álvarez (2006) Citado por (Aguayo, 2015) indica que las plantas alcanzan altos niveles de toxicidad y se absorben muy eficientemente a través de la membrana bilógicas por su elevada afinidad química por el grupo sulfhídrico de las proteínas.

4.2. Concentración de metal en la planta

4.2.1. Plomo en Planta

Se demostró que no existe diferencia significativa entre los tratamientos por lo que se acepta la Hipótesis nula que hay igualdad en la concentración en los tratamientos, Ver tabla 19; sin embargo, en la tabla 31, se visualiza que si hay diferencia en el tratamiento T2 de 63.36 ppm de Pb. Los metales se tienden a bioacumularse significando un aumento de concentración de un producto químico en un organismo vivo en un cierto plazo de tiempo (Prieto, Gonzales, Gutierrez, & Prieto, 2009). Además estas se ha demostrado que los metales pesados pueden causar diversos daños en las plantas y en diferentes grados de acumulación como sucede en el T1 que almacenó Plomo causando toxicidad. Según (Delgadillo, Gonzáles, Prieto, Villagómez, & Acevedo, 2011) la toxicidad de estos metales depende de la concentración, la forma química y su persistencia en el suelo.

Tabla 19: *Test Statistics de Kruskal Wallis de Concentración de Plomo en la Planta*

Estadísticos de contraste ^{a,b}	
Concentracion de Plomo en Planta	
Chi-cuadrado	3.590
gl	3
Sig. asintót.	.309

a. Prueba de Kruskal-Wallis
b. Variable de agrupación: Tratamiento

Tabla 20: *Rangos de Concentración de Plomo en la Planta*

Rangos			
Tratamiento		N	Rango promedio
Concentracion Plomo Planta	T1	2	4.00
	T2	2	8.75
	T3	3	5.83
	T4	3	4.00
	Total	10	

4.2.2. Cromo en Planta

Se demostró que existe diferencia significativa entre los tratamientos por lo que se rechaza la Hipótesis nula que hay igualdad en la concentración de Cromo en los tratamientos, Ver tabla 21; sin embargo, en la tabla 32 , se visualiza que el tratamiento T1, es el que tiene mayor concentración de Cromo en sus hojas, tallo y raíces siendo 69.66 ppm de Cr; seguido por el T2, T4, T3 con los siguientes valores de concentración 25.41 ppm de Cr; 19.3 ppm de Cr; 9.21 ppm de Cr respectivamente, como se observa en la Figura 16.

Las plantas hiperacumuladoras generalmente tiene poca biomasa debido a que ellas utilizan más energía en los mecanismo necesarios para adaptarse a las altas concentraciones de metal en sus tejidos (Prieto, Gonzales, Gutierrez, & Prieto, 2009). Esto se debió a la

toxicidad de los metales no solo de su concentración sino de la movilidad y reactividad de los compuestos para solubilidad de los metales.

Tabla 21: *Test Statistics de Kruskal Wallis de Concentración de Cromo en la Planta*

Estadísticos de contraste^{a,b}	
	Concentracion_Cromo_Planta
Chi-cuadrado	8.305
gl	3
Sig. asintót.	.040
a. Prueba de Kruskal-Wallis	
b. Variable de agrupación: Tratamiento	

Tabla 22: *Rangos de Concentración de Cromo en la Planta*

Rangos			
Tratamiento		N	Rango promedio
Concentracion_Cromo_Planta	T1	2	9.50
	T2	2	7.25
	T3	3	2.00
	T4	3	5.17
	Total	10	

4.3. Conductividad eléctrica del suelo (CE)

Se ha demostrado que existe diferencia significativa entre los tratamientos porque su valor de significancia está cerca de 0.05, Ver tabla 23. Mediante la Tabla 24, se observa, que el tratamiento T3, es el que tiene mayor Conductividad eléctrica, siendo 12.34 ms/cm. Así mismo, Aguilar & Gonzales (1998) mencionan que el valor de la conductividad está relacionado con la suma de los cationes o aniones, en donde la presencia de sales solubles en el suelo determina la presencia en solución de cationes de Calcio, magnesio, sodio. De ello se puede concluir que los que los valores de conductividad en el suelo que poseían enmiendas

favorecen a la fitorremediación ya que en el suelo existe mayor cantidad de iones solubles más disponibles para las plantas.

Tabla 23: *Test Statistics de Kruskal Wallis de Conductividad Eléctrica del Suelo*

Estadísticos de contraste^{a,b}	
	Conductividad_ms_cm
Chi-cuadrado	6.914
gl	3
Sig. asintót.	.075
a. Prueba de Kruskal-Wallis	
b. Variable de agrupación: Tratamiento	

Tabla 24: *Rangos de Análisis de Conductividad Eléctrica en los Tratamientos*

Rangos			
Tratamiento		N	Rango promedio
Conductividad_ms_cm	T1	3	2.67
	T2	3	5.83
	T3	3	10.00
	T4	3	7.50
	Total	12	

4.4. Potencial de hidrogenación en el suelo (pH)

Se demuestra en la Tabla 25, que existe diferencia entre tratamientos ya que su valor de significancia es cercano a ($p < 0.05$), como se observa en la tabla 26, que T1 tiene más alto su pH siendo básico. Según ECO TK (2015) el Cromo está disponible en un pH alcalino. Kabata & Mukherjee (2007) indica que el pH es un parámetro importante para definir la movilidad del catión, debido a que en medios de pH moderadamente alto se produce la precipitación como hidróxidos. En medios muy alcalinos pueden pasar a la solución como hidrocomplejos; es decir, aniones solubles. Por otro lado, Suaña (2018) indica que la presencia de carbonatos en los suelos también afecta la capacidad retención de metales.

Tabla 25: Test Statistics de Kruskal Wallis de Potencial de Hidrogenación en el suelo

Estadísticos de contraste ^{a,b}	
	pH
Chi-cuadrado	2.939
gl	3
Sig. asintót.	.401
a. Prueba de Kruskal-Wallis	
b. Variable de agrupación: Tratamiento	

Tabla 26: Análisis de Potencial de Hidrogenación (pH) en los Tratamientos

Rangos			
Tratamiento		N	Rango promedio
pH	T1	3	9.00
	T2	3	5.00
	T3	3	4.67
	T4	3	7.33
	Total	12	

4.5. Tamaño de la planta

Se demuestra que existe diferencia significativa entre los tratamientos ya que su valor de significancias es 0.42, siendo menor a 0.05 ($p < 0.05$) Ver Tabla 27. Así mismo, Según la Tabla 28, se observa que el de mayor crecimiento, fue el tratamiento T3 de 35 cm de altura, seguido por el tratamiento T4 de 26 cm de altura demostrando así su mayor altura sobre todos los tratamientos a diferencia de T1 con 11 cm de altura y T2 de 8 cm de altura. Según Peña & Beltran (2017) la disminución de crecimiento se debe a la acumulación y por efectos tóxico de los metales, ya que la planta acumula en mayor proporción el contenido de metal en los tejidos, diferentes a la raíz transportando por el xilema, desde la raíz a la hoja y eliminarlo por volatilización.

Tabla 27: *Test Statistics de Kruskal Wallis de Tamaño de la Planta*

Estadísticos de contraste ^{a,b}	
	Tamaño_Planta _DCA_cm
Chi-cuadrado	8.177
gl	3
Sig. asintót.	.042

a. Prueba de Kruskal-Wallis
b. Variable de agrupación: Tratamiento

Tabla 28: *Rangos de Análisis de Tamaño de la Planta*

Rangos			
Tratamiento		N	Rango promedio
Tamaño_Planta _DCA_cm	T1	2	3.00
	T2	2	2.00
	T3	3	9.00
	T4	3	6.00
	Total	10	

4.6. Masa de planta

Se ha demostrado que no existe diferencia significativa de masa entre tratamientos teniendo una prueba de significancia de $0.083 > \alpha 0.05$, Ver tabla 29; además, se observa en la Tabla 30, que los T3 y T4 son los que tienen mayor cantidad de masa vegetal de 186.33 gr y 181,66 gr. La masa vegetal del tratamiento T1 fue de 97.5 gr y T2 de 85.5 gr siendo menores, concluyendo que la toxicidad generó y degradó la poca masa vegetal.

Las plantas hiperacumuladoras generalmente tienen poca biomasa debido a que ellas utilizan más energía en los mecanismos necesarios para adaptarse a las altas concentraciones de metal en sus tejidos (Prieto, Gonzales, Gutierrez, & Prieto, 2009). Esto se debió a la toxicidad de los metales no solo de su concentración sino de la movilidad y reactividad de los compuestos para la solubilidad de los metales.

Tabla 29: Test Statistics de Kruskal Wallis de masa de Planta

Estadísticos de contraste ^{a,b}	
	Masa_de_la_Planta_gr
Chi-cuadrado	6.673
Gl	3
Sig. asintót.	.083

a. Prueba de Kruskal-Wallis
b. Variable de agrupación: Tratamiento

Tabla 30: Rangos de Análisis de Masa de la Planta

Rangos			
Tratamiento		N	Rango promedio
Masa_de_la_Planta_gr	T1	2	3.00
	T2	2	2.00
	T3	3	7.67
	T4	3	7.33
	Total	10	

4.7. Efecto de la incorporación de enmiendas y *Helianthus annuus* en el sistema de suelo planta

4.7.1. Variación de la concentración de Plomo en el suelo y Planta

Tabla 31: Masa de Plomo Total en el suelo y planta

Plomo (ppm)		T1		T2		T3		T4	
Componentes	Unidad	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Planta	ppm	0.00	40.89	0.00	63.36	0.00	50.70	0.00	41.30
Suelo	ppm	305.02	90.07	220.07	137.89	130.63	75.54	94.34	46.09

En el Tabla 31, la evaluación, el Pb en todos los tratamientos disminuyó su concentración, en diferentes cantidades debido a la meteorización química que pudo llevarse a cabo en los componentes del suelo.

Respecto a la bioacumulación en *Helianthus annuus*, se obtuvo 40.89 ppm Pb; 63.36 ppm Pb; 50.70 ppm Pb; 41,30 ppm Pb en cada T1, T2, T3, T4 respectivamente.

4.7.1.1. Análisis de Plomo en el suelo

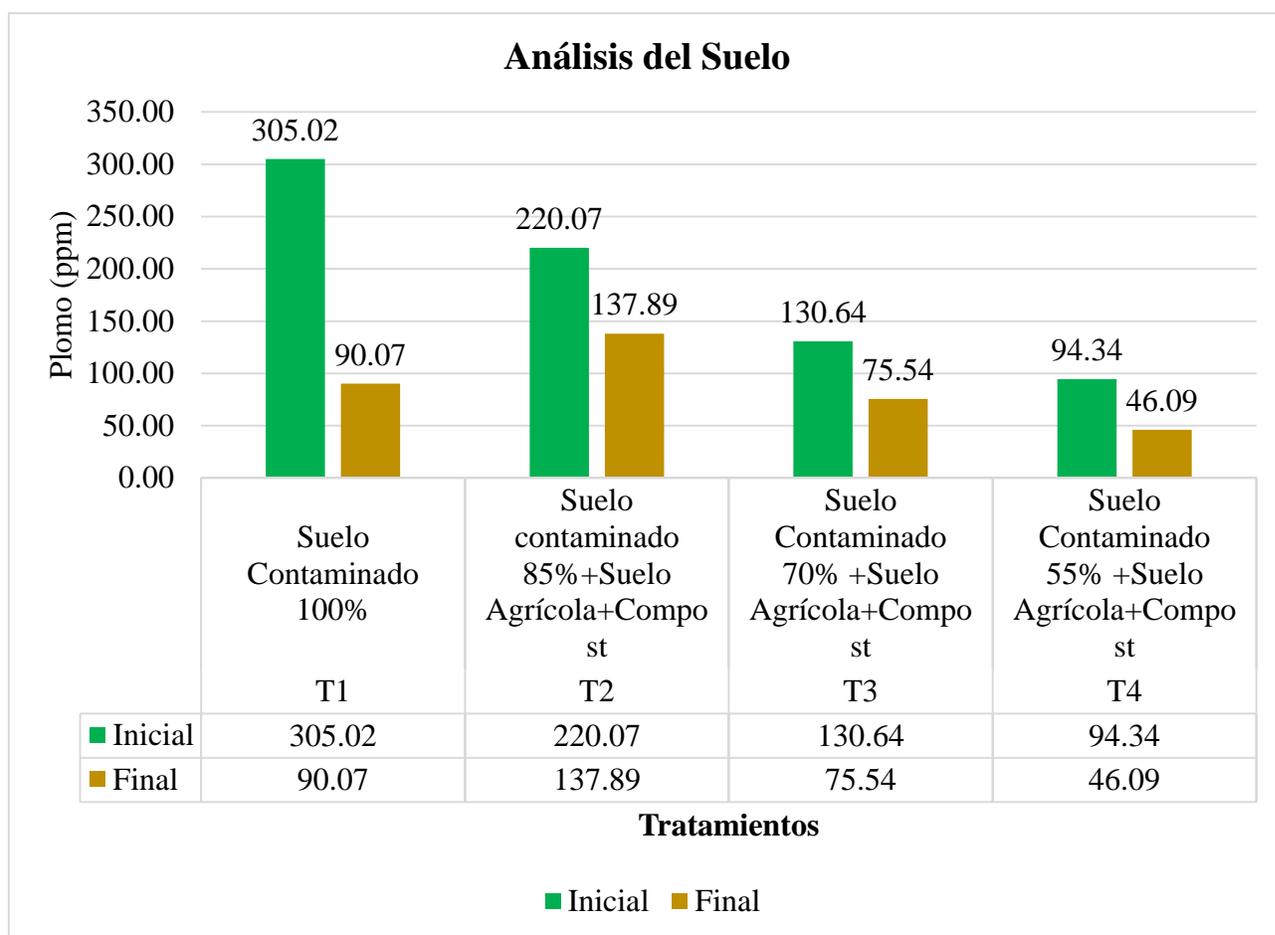


Figura 13. Plomo total en el suelo (ppm/muestra).

En la Figura 13, se observa que, en todos los tratamientos disminuyó la concentración de Pb total en el suelo. Los sustratos que aportaron la mayor concentración de Pb fueron: el

suelo contaminado de las industria metalmeccanica y suelo agrícola procedente de campos de lúcumo de la UPeU, en alguna medida.

El suelo contaminado proveniente de la industria metalmeccánicas aportó 137.7 ppm de Pb contenido en la estructura del suelo, que puede haber sometido a un proceso de meteorización química durante un periodo de 60 días de evaluación, liberando iones de Pb en la solución del suelo. Además el suelo agrícola aportó 96.36 ppm de Pb que pudo provenir de remanentes de Pb procedentes de la contaminación externa y aplicaciones de insumos agrícolas propia de suelo de cultivo, concedinedo al suelo plomo que permanece en el mismo a través del tiempo.

En los tratamientos T1, T2 disminuyo la concentración de Plomo total en el suelo siendo T1 el más eficiente, logrando disminuir 214.95 ppm de Plomo al final de la evaluación, explicando así la formación de iones complejos de Plomo. Así mismo, como consecuencia de la interacción del enmiendas en T2 se incrementaron los iones solubles presentes en el suelo. Ello originó la interacción de iones solubles formando complejos que podrían precipitar, uno de los complejos formados puede ser el ion Plomo Pb^{2+} , desplazándose del suelo en forma solubilizada hacia los lixiviados.

4.7.1.2. Análisis Vegetal de Plomo entre tratamientos

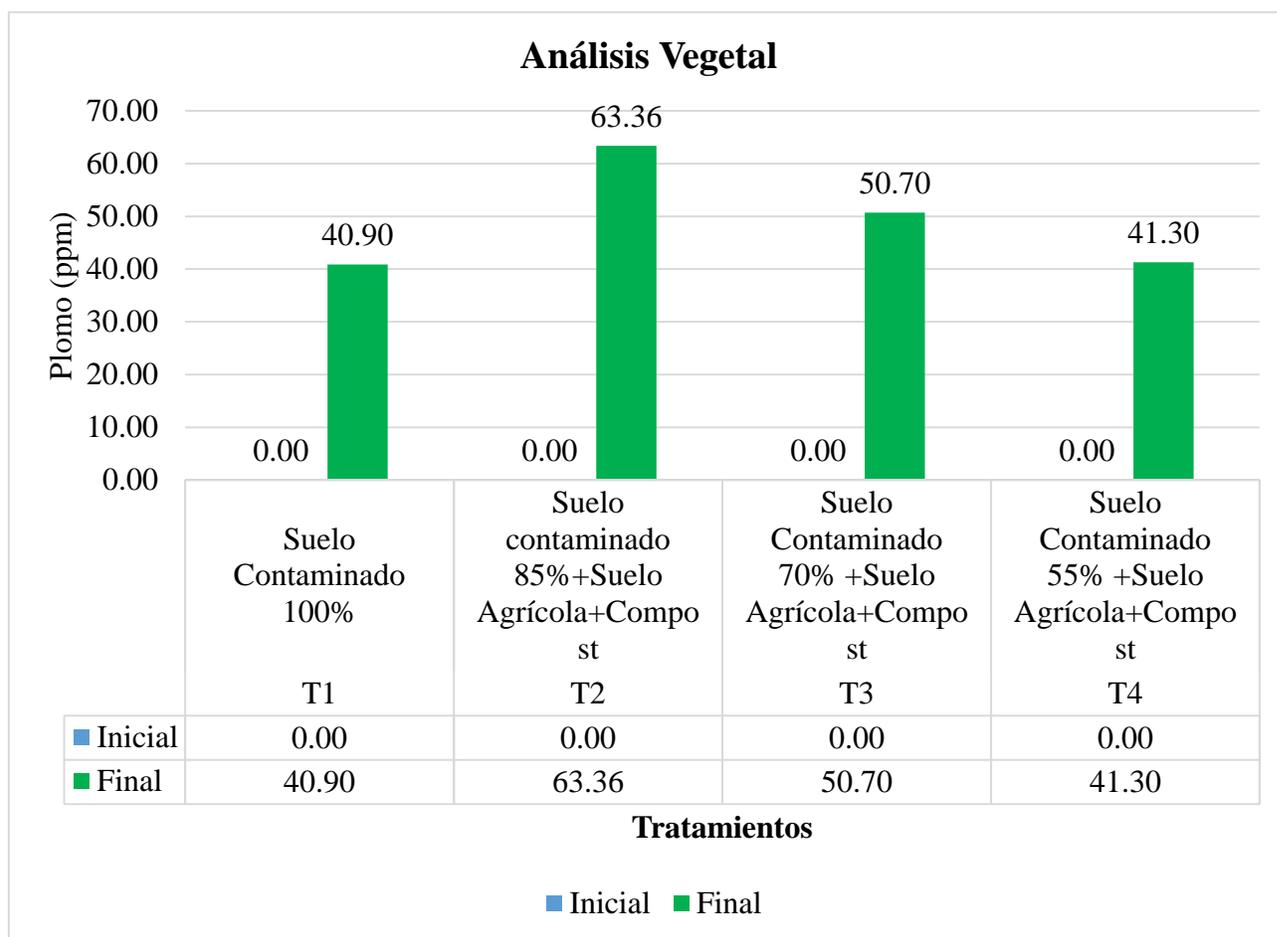


Figura 14. Plomo total en materia Vegetal (ppm).

En la figura 14, la concentración de Plomo total en la masa vegetal de *Helianthus annuus*, luego de 60 días de plantación, se incrementó en todos los tratamientos. Se observó, además que el Plomo preferentemente se acumula en la planta, en T2 y T3 se observa que su concentración de acumulación es elevada derivándose como elemento propio del suelo galena (PbS), Cerusita (PbCO₃), anglesita (Pb SO₄) en suelo natural y en forma de óxido, sulfuros, sales.

4.7.2. Variación de la concentración de Cromo en el suelo y Planta

Tabla 32: *Cromo Total en suelo y planta*

Cromo (ppm)									
Componentes	Unidad	T1		T2		T3		T4	
		Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
Planta	ppm	0.00	69.66	0.00	25.41	0.00	9.21	0.00	19.3
Suelo	ppm	250.00	56.18	185.86	99.80	85.30	47.40	110.30	79.5

En Tabla 32, se observa que el cromo total, se redujo en todos los tratamientos a excepción del T1 que aumenta debido a la muerte de una planta donde es probable que se incremente la concentración y por incremento de Cromo soluble con consecuencia de la meteorización química.

Sin embargo, los tratamientos T3, T4 de Cr tuvieron variaciones siendo 85.30 ppm de Cr; 110.30 ppm de Cr respectivamente, debido al efecto de retención ejercido por las enmiendas aplicadas, las cuales disminuyeron la pérdida del Cromo en el sistema.

4.7.2.1. Análisis de Cromo en el suelo

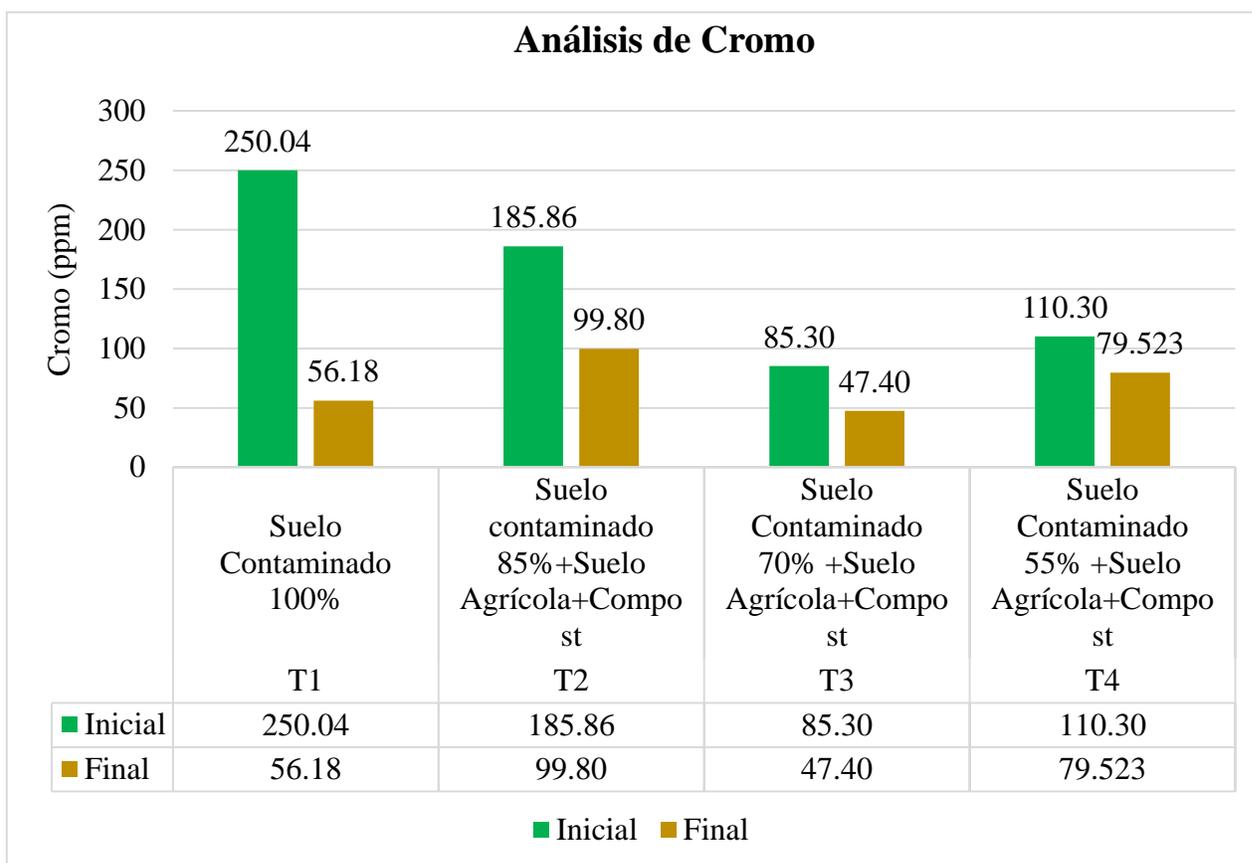


Figura 15. Cromo total en el suelo (ppm/muestra).

En la Figura 15, en el tratamiento T1, se redujo en 69.67 ppm de Cr total en el suelo. Según Callirgos (2014) indica que la baja concentración de CIC en el suelo no retiene el metal como consecuencia el Cromo soluble es transportado por el xilema, generando la toxicidad en la Planta y la acumulación del metal. Durante la fase de estudio se observó la decoloración de las hojas. Según Hernandez, Fernandez, & Baptista (2010) estos iones de Cr + ingresan a la pared celular en enlaces a grupos sulfhídrico (-SH) en el límite del citoplasma o mediante su aislamiento en comportamientos, formando complejos ácidos orgánicos fenoles y otros compuestos orgánicos en las vacuolas.

Ahora, analizando el tratamientos T3 y T4 obtuvieron menor cantidad de concentración de 9.217ppm de Cr y 19.3 ppm de Cr respectivamente, observándose así, la mayor supervivencia de las plantas y logrando efectividad en la remoción de metales pesados.

4.7.2.2. Análisis Vegetal de Cromo en los Tratamientos

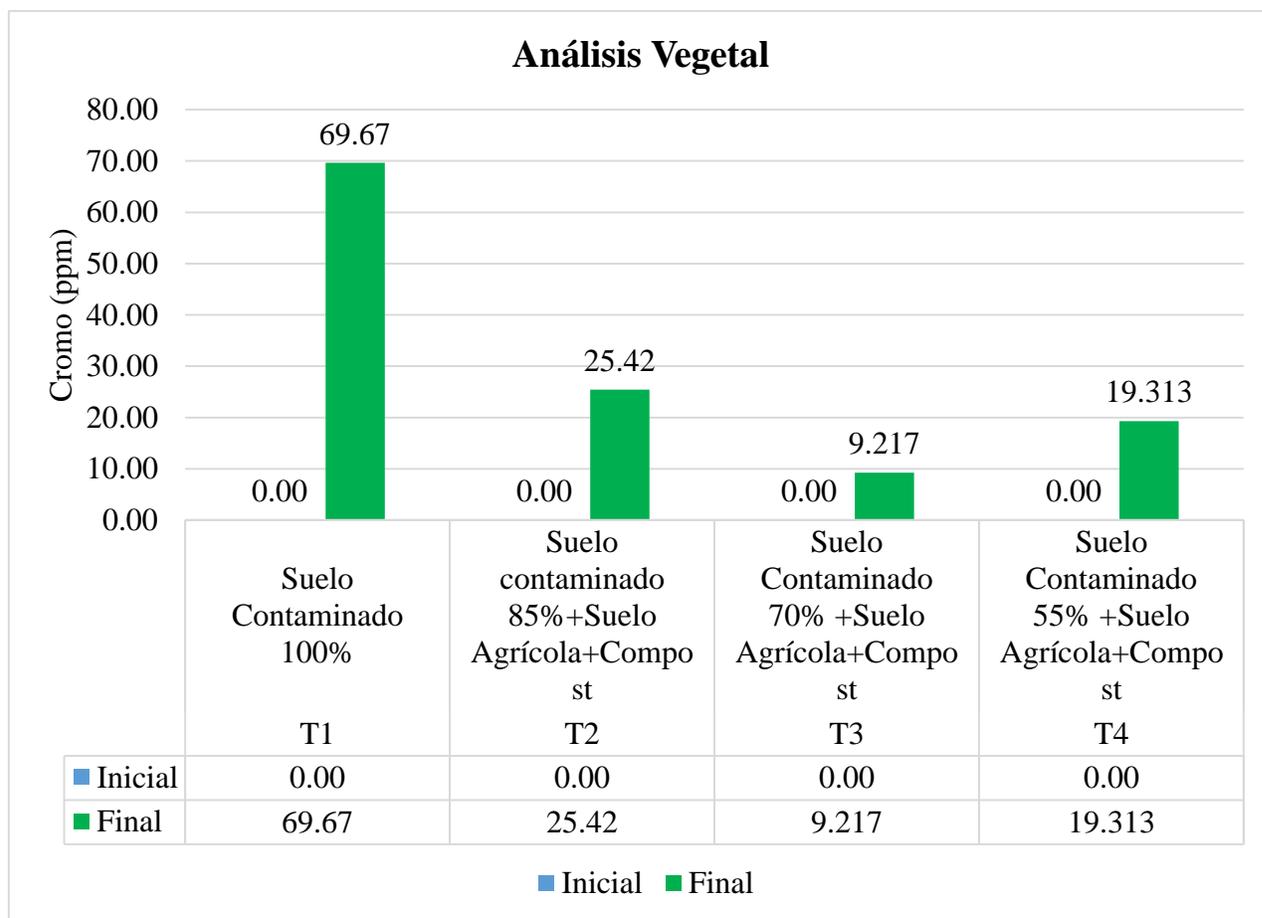


Figura 16. Cromo total en materia Vegetal (ppm).

En la Figura 16 se observa que los tratamientos T3 y T4 presentan guano de isla y suelo agrícola. Debido a que quedo retenido en la planta y disminuyendo su desplazamiento hacia los lixiviados. Se infiere que la prueba de enmienda actuaron como efecto tampón para el ingreso incontrolado de metales pesados, evitándose así, la toxicidad de la Planta.

4.8. Efecto de la incorporación de enmiendas en la variación del crecimiento y supervivencia de *Helianthus annuus*

4.8.1. Altura de Planta

Realizando la comparación de tratamientos, los que lograron una mayor altura de planta del *Helianthus annuus* son T3 y T4 en donde luego de 60 días de evaluación desarrollaron también mayor cantidad de biomasa.

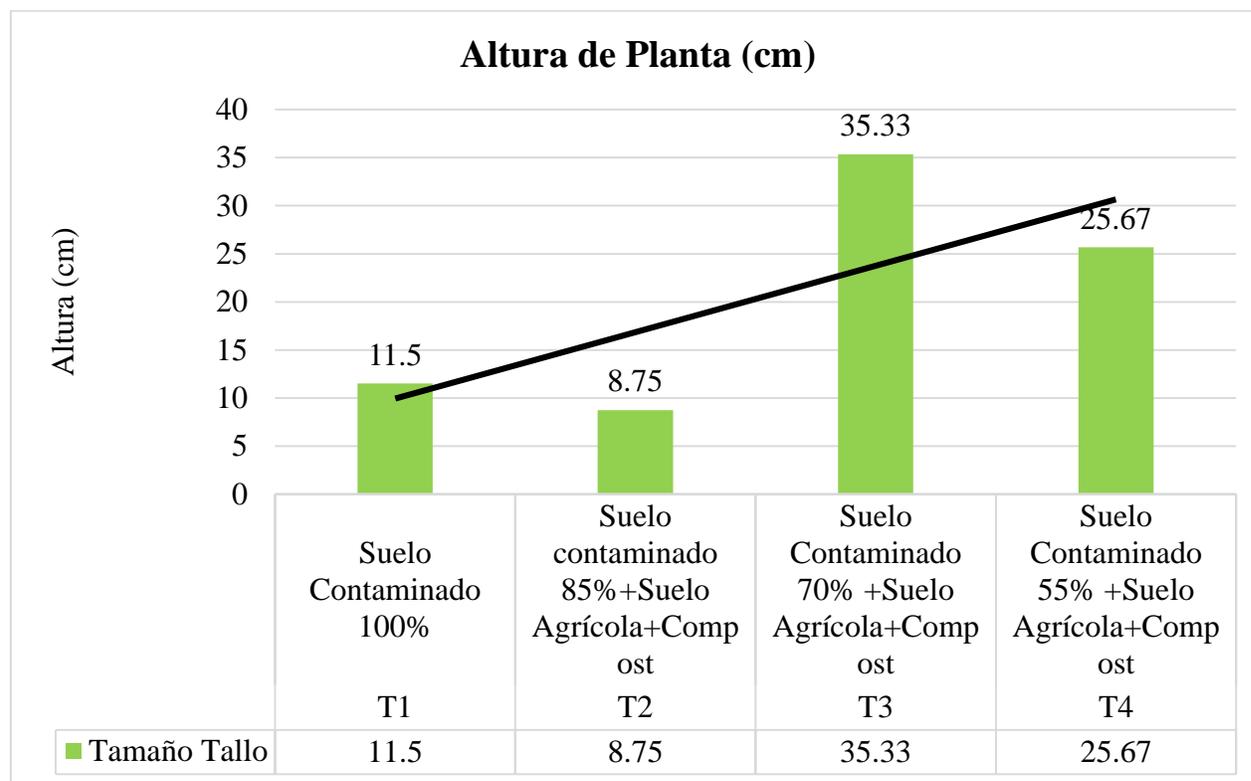


Figura 17. *Altura de Planta en los Tratamientos.*

4.8.2. Porcentaje de Supervivencia

Para el cálculo del porcentaje de supervivencia se utilizó la siguiente ecuación de Linares 2005 citado por (López, 2015).

$$\% \text{ Supervivencia} = \frac{PV}{(PV + PM)} * 100$$

Donde:

PV: Plantas Vivas

PM: Plantas Muertas

En la Figura 18, se observa la variación del porcentaje de supervivencia entre el día inicial y día final. Se observa que los tratamientos al transcurrir los 60 días de evaluación estos fueron muriendo generalmente los de tratamiento T1, T2 su supervivencia fue de 66.6 % mientras que los T3y T4 su Supervivencia fue mayor siendo 100% respectivamente. Esto demuestra que la aplicación de enmienda Orgánica “Guano de Isla” en 5% y suelo agrícola en 25% son efectivos para garantizar la remedición de suelos contaminados por metales pesados.

Al final de la evaluación se observa una diferencia significativa a favor de los tratamientos con la aplicación de enmiendas en un 25 % de suelos agrícola y 5% de guano de isla, se aprecian las plantas vivas durante un total de 7 semanas.

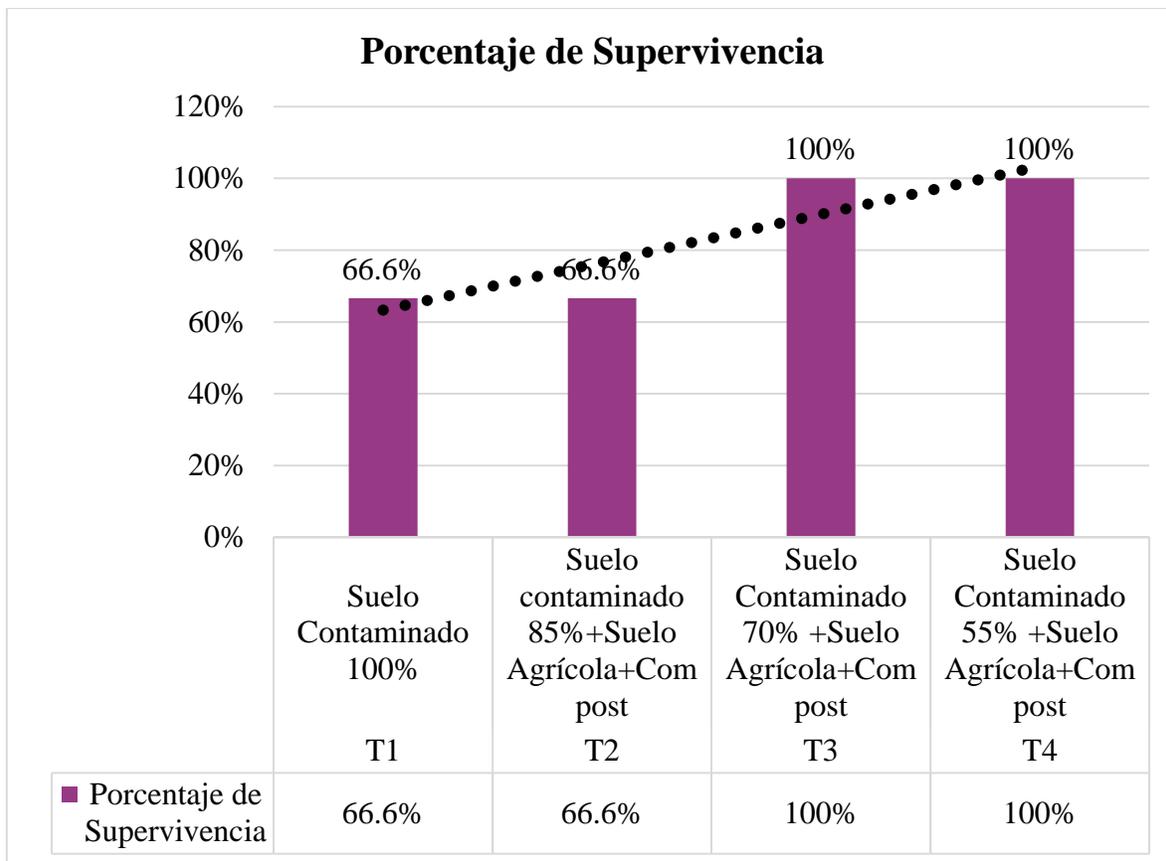


Figura 18. *Porcentaje de Supervivencia del Helianthus annuus*

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

1. El *Heliantius annuus* posee capacidad fitorremediadora, debido a que logra bioacumular Pb, Cr en la masa foliar para todos los tratamientos (T1, T2, T3, T4), reduciendo de esta manera la concentración de metal pesado en el suelo. Por otro lado, el uso de *Helianthus annuus* favorece en reducir la concentración de metales como Cr y Pb, en los Tratamientos T3 y T4 se observó gran cantidad de reducción de concentración de metales y mayor supervivencia de las plantas.
2. El tratamiento más eficiente para los procesos de fitorremediación fue el T4 y T3 que contenía suelo, guano de isla ya que se logró la bioacumulación de Cr y Pb y así mismo, logrando mayor crecimiento vegetal y mayor porcentaje de supervivencia. Así mismo, se concluye que los niveles de pH de mantuvieron constantes y los niveles de conductividad eléctrica se incrementaron, lo cual favoreció la disponibilidad de cationes metálicos en la solución del suelo en el T3 y T4 formando complejos. Por otro lado, de concluye que, en el *Helianthus annuus*, la acumulación de Cr y Pb fue mayor, pero las plantas no resistieron la toxicidad que existía, debido a que se bioacumularon con metales generando como consecuencia la muerte de ellas. Igualmente, la aplicación de enmiendas influyó como efecto tampón en el suelo, disminuyendo la bioacumulación excesiva de Pb y Cr en la masa foliar de *Helianthus annuus*.
3. La adición de enmiendas favoreció el crecimiento y la supervivencia de *Helianthus annuus* y en el incremento de las longitud de las plantas en los tratamientos T3 y T4, debido posiblemente a la mayor retención de nutrientes. Así mismo, la masa vegetal

fue mayor en los tratamientos T3 y T4 logrando biacumulación de metales pesados en sus hojas, demostrando su capacidad de remediación y la supervivencia fundamental de la especie *Helianthus annuus*.

5.2. Recomendaciones

1. Se recomienda el uso de *Helianthus annuus* con aplicación de otro tipo de enmiendas que acondicione el medio para la revegetación y remediación de suelos contaminados con metales pesados para industrias metalmeccánicas.
2. Se recomienda probar otras especies vegetales como: alfalfa, marigol, lenteja de agua, retama que tenga mayor adaptabilidad y resistencia a condiciones de suelo extremos y condiciones climáticas del medio a remediar.
3. Se recomienda hacer análisis de lixiviados de cada tratamiento con la finalidad de conocer con mayor certeza el balance de masa de concentraciones de metales pesados.

REFERENCIAS

(s.f.).

Agencia Europea de Medio Ambiente, A. (19 de 04 de 2016). Problemas. Obtenido de <https://www.eea.europa.eu>: <https://www.eea.europa.eu/es/publications/92-827-5122-8/page014.html>

Aguayo, G. C. (2015). Determinación de la acumulación de los metales pesados plomo, cadmio y cromo en la planta Psitia Stratiotes conocida como Lechuga de agua. Santiago de Cali: Universidad Icesi.

Aguilar, J., & Gonzales, P. (1998). Utilización agrícola de residuos sólidos urbanos en cultivos leñosos de la provincia de Córdoba . Obtenido de <https://books.google.com.pe>: <https://books.google.com.pe/books?id=rxPyCwAAQBAJ&pg=PA92&lpg=PA92&dq=Aguilar,+J;+Gonz%C3%A1lez,+P.+1998.+Utilizaci%C3%B3n+agr%C3%ADcola+de+compost+de+residuos+s%C3%B3lidos+urbanos+en+cultivos+le%C3%B1osos+de+la+provincia+de+C%C3%B3rdoba.+Junta+de+Andaluc>

Alarcón, E. C. (2013). "EVALUACIÓN DEL POTENCIAL FITORREMIADOR DE Phaseolus vulgaris, Triticum vulgare y Helianthus annuus PARA METALES PESADOS EN UN CULTIVO HIDROPÓNICO A NIVEL DE INVERNADERO. Mexico: FEZ ZARAGOZA.

Alvarado, C. J., Dasgupta, S. N., Ambriz, E., Sanchez, Y. J., & Villegas, J. (2011). Hongos Micorrízicos Arbusculares y la fitorremediación de plomo. Revista Int. Contaminación Ambiental, 8.

Árevalo de Gauggel, G., & Castellano, M. (2009). Manual Fertilizantes y Enmiendas. Honduras: Zamorano.

- Baker, A. (21 de Nov de 1981). Accumulators and excluders - strategies in the response of plants to heavy metals. Obtenido de <https://www.tandfonline.com:https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904168109362867>
- Bautista, Z. F. (1999). Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados. Obtenido de https://books.google.com.pe:https://books.google.com.pe/books/about/Introducci%C3%B3n_al_estudio_de_la_contaminacion.html?id=yE2Jq3z7ex4C
- Bernal, M., Clemente, R., Vasquez, S., & Walker, D. (2007). Ecosistemas Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente. Obtenido de <https://www.revistaecosistemas.net:https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/131>
- Cabezas, J., Alonso, J. (., Pastor, J., (2) Sastre-Conde, I. (., & y Lobo, M. (. (2004). ABSORCIÓN Y ACUMULACIÓN DE METALES PESADOS EN TRES ESPECIES VEGETALES EN SUELOS ENMENDADOS CON LODOS DE DEPURADORA. Environmental Biotechnology and Engineering, 13.
- Cabrera, C. F. (2000). La contaminación por metales pesados en el valle de Guadamar tras el vertido de Aznalcóllar. Retema, 11.
- Callirgos, R. C. (2014). EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD FITORREMIADORA DE LA ESPECIE *Chrysopogon zizanioides* MEDIANTE LA INCORPORACIÓN DE ENMIENDAS EN RELAVES MINEROS". Lima.
- Carbo, B. N., & Bustinza, C. L. (2008). Manual de Prácticas de Suelo. Lima: ImprentaUnión.
- Casares, M. V. (2012). "Biodisponibilidad y toxicidad de metales pesados en aguas naturales con características físico-químicas extremas. Bases para su monitoreo y remediación"- Biblioteca Digital FCEN - UBA. Obtenido de <http://digital.bl.fcen.uba.ar:>

http://digital.bl.fcen.uba.ar/gsd1-282/cgi-bin/library.cgi?a=d&c=tesis&d=Tesis_5334_Casares

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, 7.

Comisión Nacional del Medio Ambiente, R. M. (2001). Guía para el control y prevención de la contaminación industrial. Santiago de Chile.

Cronquist. (1981). Clasificación de las Angiospermas.

Delgadillo, L. A., Gonzáles, R. C., Prieto, G. F., Villagómez, I. J., & Acevedo, S. O. (2011). FITORREMEDIACIÓN: UNA ALTERNATIVA PARA ELIMINAR LA CONTAMINACIÓN. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 17.

Delgado, R., & Casanova, E. (2005). El rol del suelo en el desarrollo de la agricultura sustentable: la necesidad de integración de procesos del sistema suelo-cultivo-hombre-ambiente. Facultad de Agronomía, Instituto de edafología, 8.

Domenech, X., & Peral, J. (2006). Química Ambiental de sistemas terrestres. Obtenido de https://books.google.com.pe/books/about/Qu%C3%ADmica_ambiental_de_sistemas_terrestre.html?id=S4bjFOEXRzMC

Eary, L., & Rai, D. (02 de 1989). Kinetics of Chromate reduction by ferrous ions derived from hematite and biotite at 25 degrees C. Obtenido de <http://adsabs.harvard.edu:> <http://adsabs.harvard.edu/abs/1989AmJS..289..180E>

ECO TK, S. (2015). Biotecnología Agrícola. Obtenido de <https://www.ecotk.com.mx:> <https://www.ecotk.com.mx/2015/09/11/disponibilidad-de-nutrientes-en-relaci%C3%B3n-con-el-ph-del-suelo/>

Fundación Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, F. (1980). Fundación de Agronomía. Obtenido de <http://ffa.agro.uba.ar/>

Galán, H. E., & Romero, B. A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. Contaminación de suelo por metales pesados (pág. 13). Sevilla: Revista de la Sociedad Española de Minerología.

García, I., & Donrronsoro, C. (2005). Scielo Colombia. Obtenido de <http://www.scielo.org.co:>
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000086&pid=S0120-2812201400020000900009&lng=es

Griffin, R., Ak, A., & Frost. (1977). Effect of pH on adsorption of chromium from landfill leachate by clay. Obtenido de <https://books.google.com.pe:>
https://books.google.com.pe/books?id=x5kyBwAAQBAJ&pg=PA86&lpg=PA86&dq=Griffin,+R;+Au,+AK;+Frost,+R,+1977.+Effect+of+pH+on+adsorption+of+chromium+from+landfill+leachate+by+clay&source=bl&ots=kHOv8keiFU&sig=YKUY4Ri_QVcQQ3xDicu5LtJtsjg&hl=es-419&sa=X&ved=0ah

Gutiérrez, E. L., Melgoza, C. A., Alarcón, H. M., & Ortega, G. J. (2011). Germinación del girasol silvestre (*Helianthus annuus* L.) en presencia de diferentes concentraciones de metales. *Rev Lattiinoam Biotecnoll Amb Allgall* 2((1));, 49-56.

Guzmán, A. M. (2007). La Contaminación de suelo y aguas. Obtenido de <https://books.google.com.pe:>
https://books.google.com.pe/books/about/La_contaminaci%C3%B3n_de_suelos_y_aguas.html?id=KPcJItVcQRoC

- Hernández, A. E., Juárez, S. Y., Robledo, S. E., Díaz, V. P., & Cristobal, A. D. (2016). Acumulación de metales pesados en *Helianthus annuus* desarrollado en residuos de mina. *Revista Iberoamericana de Ciencias* , 11.
- Hernández, A., Juárez, S. Y., Robledo, S. E., Díaz, V. P., & Cristobal, A. D. (2016). Acumulación de metales pesados en *Helianthus annuus* desarrollado en residuos de mina. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 10.
- Hernandez, S. R., Fernandez, C. C., & Baptista, L. P. (2010). *Metodología de la Investigación*. Mexico D.F.: Mc Graw Hill.
- Kabata, P. A., & Mukherjee, A. B. (2007). *Trace Elements from soil to human*. New York: Springer.
- Lerma, R. M. (2006). *EVALUACIÓN DE SUELOS Y ESPECIES VEGETALES CON POTENCIAL DE ACUMULACIÓN DE METALES PESADOS*. México: Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia.
- Lobos, C. M. (2008). Efectividad de Biosólidos para la fitoestabilización de un tranque de Relaves Minero, en la Comuna de Nogales. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl: http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104997>
- López, C. C. (2015). *Evaluación de sobrevivencia e incremento de seis especies forestales maderables en plantaciones de la finca Eco Forestal, San Juan del Sur, Rivas. 2010*. Lima: Universidad Nacional Agraria.
- Melgares de Aguilar, C. J. (2001). *El cultivo de Girasol (Helianthus annuus) para flor cortada*. Consejería de agricultura, agua y medio ambiente, 9.
- Moreno, J. E. (2010). *Recuperación de Suelos mineros contaminados con arsénico mediante Fiotecnologías*. Madrid: Universidad Autonoma de Madrid.

- Mucciarelli, M., Berteà, C., Cozzo, M., Scannerini, S., & Gallino, M. (1998). International Society for Horticultural Science. Obtenido de <https://www.ishs.org>: https://www.ishs.org/ishs-article/457_33
- Navarro, A. J., Aguilar, A. I., & Lopez, M. (2007). Aspectos Bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Asociación Española de Ecología Terrestre*, 16.
- Organización Mundial de la Salud, O. (2009). Inorganic Chromium (III) Compounds. Obtenido de <http://apps.who.int>: <http://apps.who.int/iris/handle/10665/44090>
- Padmesh, T. V., Vijayaraghavan, K., Sekaran, G., & Velan, M. (2006). Application of Two- and Three-Parameter Isotherm Models: Biosorption of Acid Red 88 onto *Azolla microphylla*. *Bioremediation Journal*, 10.
- Peña, R. F., & Beltrán, L. M. (2017). "APLICACION DE LA FITORREMEDIACION EN SUELOS CONTAMINADOS POR METALES PESADOS UTILIZANDO *Helianthus annuus* L. EN LA ESTACION EXPERIMENTAL EL MANTARO". *Prospectiva Universitaria*, 15.
- Prieto, M. J., Gonzales, R. C., Gutierrez, R. A., & Prieto, G. F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17.
- Rodríguez, E. M., Chico, R. J., & Orlando, C. W. (2014). Efecto alelopático del extracto acuoso de hojas de *Helianthus annuus* sobre la germinación y crecimiento de plántulas de *Setaria unguolata* y *Chenopodium murale*. *REBIOL*, 1-8.
- Saavedra, G. M. (2007). Biodegradación de Alperujo Utilizando Hongos del Género *Pleurotus* y Anélidos de la Especie *Eisenia Foetida*. Granada: CSIC.

Schenquer, R. d., Mongiello, A., & Acosta, A. (23 de 03 de 2004). Contaminación y Salud del suelo. Obtenido de [https://books.google.com.pe:https://books.google.com.pe/books?id=GYWdzzyZp0C&pg=PP8&lpg=PP8&dq=Ruda+de+Schenquer;+Mongiello;+Acosta.+2004.+Contaminaci%C3%B3n+y+Salud+del+Suelo.+Centro+de+Tecnolog%C3%ADa+Educativa+Aplicada+\(CETEA\).+Facultad+de+Ingenier%C3%ADa+Qu%C3%ADmica,+UNL.&sour](https://books.google.com.pe:https://books.google.com.pe/books?id=GYWdzzyZp0C&pg=PP8&lpg=PP8&dq=Ruda+de+Schenquer;+Mongiello;+Acosta.+2004.+Contaminaci%C3%B3n+y+Salud+del+Suelo.+Centro+de+Tecnolog%C3%ADa+Educativa+Aplicada+(CETEA).+Facultad+de+Ingenier%C3%ADa+Qu%C3%ADmica,+UNL.&sour)

Sierra, V. R. (2006). Fitorremediación de un suelo contaminado con plomo por actividad industrial. Buenavista, Santillo, Coahuila, México.

Suaña, Q. M. (2018). Capacidad del Girasol (*Helianthus annuus* L.) para absorber cadmio de suelos contaminados en ambiente controlado, Puno. Revista de Investigación de la Escuela de Posgrado, Universidad Nacional del Altiplano, 1-9.

Torres, R. D., Cumana, A., Torrealba, O., & Posada, D. (2010). Uso del vetiver para la fitorremediación de Cromo en Lodos residuales de una Tenería. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 14.

USEPA, (. S. (September de 2015). EPA. Obtenido de <https://www.epa.gov:https://www.epa.gov/radiation/understanding-variation-partition-coefficient-kd-values>

Voltaire. (1978). La contaminación del suelo. 28.

Vullo, D. L. (2003). Microorganismos y metales pesados: una interacción en beneficio del medio ambiente. Química Viva, 12.

Wild, A., & Russell, E. (1992). Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Obtenido de <https://www.mundiprensa.com:https://www.mundiprensa.com/catalogo/9788471144003/condiciones-del-suelo-y-desarrollo-de-las-plantas-segun-russell>

- Winpenny, J., Heinz, I., & Koo-Oshima, S. (2013). Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos? Roma: Técnica en Español.
- Zavaleta, A. (1989). Biblat. Obtenido de <https://biblat.unam.mx:https://biblat.unam.mx/en/revista/turrialba/articulo/fassbender-hw-bornemisza-e-quimica-de-suelos-con-enfasis-en-suelos-de-america-latina-iica-cr-2a-ed-rev-coleccion-libros-y-materiales-educativos-no-81-1987-420-p>
- Zhang, B. Y., Zheng, J., & Sharp, R. (2010). Phytoremediation in Engineered Wetlands: Mechanisms and Applications. *Science Direct*, 11.
- Zhang, Y., Zhang, D., & Barrett, S. (2010). Genetic uniformity characterizes the invasive spread of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), a clonal aquatic plant. *Molecular Ecology*, 1774–1786.

ANÉXOS

Anexo 1: Decreto Supremo N° 011-2017 - MINAM - Estándar de Calidad Ambiental para Suelo.

Tabla 33: Decreto Supremo N°011-2017-MINAM Estándares de Calidad Ambiental para Suelo.

N°	Parámetros	Uso 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	0,037	EPA 8260-B EPA 8021-B
3	Metilbenceno (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-C28)(mg/kg/MS)	200	200	500	EPA 8015-B
7	Fracción de hidrocarburos F2(C5-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
10	Bifenilos policloratos-PCB (mg/kg/MS)	0,5	1,3	33	EPA 8270-D

11	Tetracloroetileno (mg/kg/MS)		0,1	0,2	0,5	EPA 8260-D
12	Tricloroetileno (mg/kg/MS)		0,01	0,01	0,01	EPA 8260-D
II Inorgánicos						
13	Cianuro (mg/kg/MS)	libre	0,9	0,9	8	EPA 9013- A/APHA- AWWA-WEF 4500 CN F
14	Arsénico (mg/kg/MS)	total	50	50	140	EPA 3050-B EPA 3051
15	Bario Total (mg/kg/MS)		750	500	2000	EPA 3050-B EPA 3051
16	Cromo VI (mg/kg/MS)		0,4	0,4	1,4	DIN 19734
17	Cadmio (mg/kg/MS)	Total	1,4	10	22	EPA 3050-B EPA 3051
18	Mercurio (mg/kg/MS)	Total	6,6	6,6	24	EPA 7471-B
19	Plomo Total (mg/kg/MS)		70	140	1200	EPA 3050-B EPA 3051
20	Cromo total (mg/kg/MS)		**	400	1000	EPA 3050 EPA3051

Anexo 2: Análisis del Suelo Contaminado provenientes de la Industria.



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: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fla@lamolina.edu.pe



Nº 012110

ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

SOLICITANTE : DÁMARIS RODRIGO TINTAYA
PROYECTO : Estimar la capacidad fitoremediadora de Helianthus annuus y tagete erecta para suelos contaminados por metales pesados de industrias metalmeccánicas.
PROCEDENCIA : Lima - Industrias Metalmeccánicas
RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 08 de marzo del 2017

Número de muestra	Lab.	Campo	CE ds / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	Cationes Cambiables					
				Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura Relación 1:1						cic cmol	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ⁺³ H ⁺
12110	Suelo	Contaminado	10.50	69.88	22.92	7.20	Frano arenoso	7.80	5.57	63.16	1240.00	8.18	10.24	7.10	1.00	0.46	1.67	-

Elementos Pesados	
Pb (ppm)	137.70
Cd (ppm)	<0.012
Cr (ppm)	<0.05

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO
 Ing. Micaela Valderrama Argenteo
 JEFE DE LABORATORIO



Figura 19. Cadena de custodia de caracterización de suelo contaminado

MÉTODOS SEGUIDOS EN EL ANÁLISIS

- Análisis Mecánico: Textura por el Método de Hidrómetro.
- Conductividad eléctrica: C.E. Lectura de extracto de relación suelo agua 1:1 y extracto de la pasta saturada.
- pH. 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
- Nitrogeno total: Método Micro Kjeldahl.
- Fósforo: Método de Olsen Modificado, Extracto, NaHCO_3 0.5M, pH = 8.5
- Polasio Disponible: Extracto Acetato de Amonio 1N, pH 7.0
- Capacidad de Intercambio Catiónico: Acetato de Amonio 1N pH 7.0
- Carbhidratos: Determinaciones en extracto Amoníaco.
 - Ca^{2+} : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
 - Mg^{2+} : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
 - K^+ : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
 - Na^+ : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
- Yeso Soluble: Solubilización con agua y precipitación con acetona.
- Boro Soluble: Colorimétrico, Método de la Curcumina.
 - Aniones Solubles:
 - Cl^- : Volumétrico: Nitrato de Plata.
 - CO_3^{2-} : Volumétrico: Ácido Clorhídrico.
 - HCO_3^- : Volumétrico: Ácido Clorhídrico.
 - SO_4^{2-} : Turbidimétrico: Sulfato de Barro.
 - NO_3^- : Colorimétrico.

INTERPRETACIÓN	
DISPONIBLES	

C.E. (Sales)
Segun 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

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	Reacción del Suelo (pH)
< 5 meq/100 gr	Muy baja
5 - 10	Baja
10 - 15	Medio
15 - 20	Alto
> 20	Muy alto

* CIC: Capacidad Intercambiable de Cationes.

Figura 20. Cadena de Custodia de métodos seguidos en el análisis

Anexo 3: Análisis del Suelo Agrícola proveniente del Cultivo de Lúcumo.

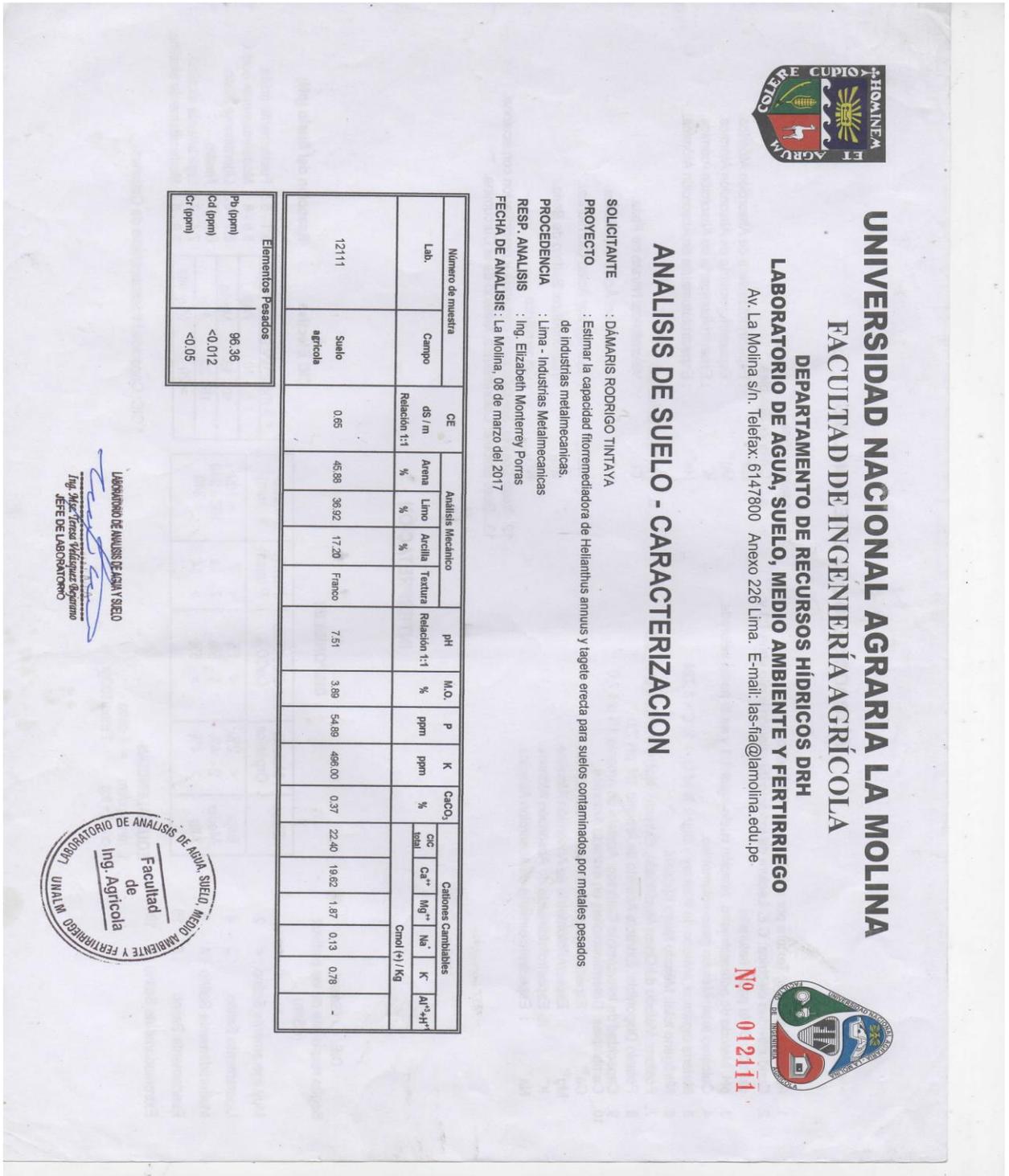


Figura 21. Cadena de custodia de caracterización de suelo agrícola

Anexo 4: Análisis de metales pesados del Suelo en todos los tratamientos.



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. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : ESTHER RODRIGO TINTOYA
PROYECTO : TRATAMIENTO DE SUELO
PROCEDENCIA : Universidad Peruana Unión
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 22 de Junio del 2017

Número de muestra	Campo	Pb (ppm)	Cr (ppm)
12780	T 1.1	323.48	260.98

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



Nº 012760

Figura 22. Cadena de custodia de análisis de suelo contaminado de tratamiento T1.1



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. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 012761

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : ESTHER RODRIGO TINTOYA
PROYECTO : TRATAMIENTO DE SUELO
PROCEDENCIA : Universidad Peruana Unión
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 22 de Junio del 2017

Número de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
Lab.	Campo		
12761	T 1.2	266.32	220.24

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



Figura 23. Cadena de custodia de análisis de suelo contaminado de tratamiento T1.2



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. Telef: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 012762

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : ESTHER RODRIGO TINTOYA
PROYECTO : TRATAMIENTO DE SUELO
PROCEDENCIA : Universidad Peruana Unión
RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 22 de Junio del 2017

Número de muestra	Lab.	Campo	Pb (ppm)	Cr (ppm)
12762		† 1.3	325.25	268.90

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



Figura 24. Cadena de custodia de análisis de suelo contaminado de tratamiento T1.3



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. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : ESTHER RODRIGO TINTOYA
PROYECTO : TRATAMIENTO DE SUELO
PROCEDENCIA : Universidad Peruana Unión
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 22 de Junio del 2017

Número de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
Lab.	Campo		
12763	t 2.1	139.81	73.89

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



Nº 012763



Figura 25. Cadena de custodia de análisis de suelo contaminado de tratamiento T2.1



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. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : ESTHER RODRIGO TINTOVA
PROYECTO : TRATAMIENTO DE SUELO
PROCEDENCIA : Universidad Peruana Unión
RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 22 de Junio del 2017

Número de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
Lab.	Campo		
12764	t 22	114.12	69.86

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



Nº 012764

Figura 26. Cadena de custodia de análisis de suelo contaminado de tratamiento T2.2



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. Telefax: 61417800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : ESTHER RODRIGO TINTOYA
PROYECTO : TRATAMIENTO DE SUELO
PROCEDENCIA : Universidad Peruana Union
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 22 de Junio del 2017

Número de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
Lab.	Campo		
12765	t 2.3	137.98	112.15

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



Nº 012765



Figura 27. Cadena de custodia de análisis de suelo contaminado de tratamiento T2.3



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. Telefax: 61417800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : ESTHER RODRIGO TINTOYA
PROYECTO : TRATAMIENTO DE SUELO
PROCEDENCIA : Universidad Peruana Union
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 22 de Junio del 2017

Numero de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
Lab.	Campo		
12766	t 3.1	227.52	243.86

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO
Ing. MSc. Teresa Velásquez Bejarano
JEFE DE LABORATORIO



Nº 012766



Figura 28. Cadena de custodia de análisis de suelo contaminado de tratamiento T3.1



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: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : ESTHER RODRIGO TINTOYA
PROYECTO : TRATAMIENTO DE SUELO
PROCEDENCIA : Universidad Peruana Unión
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 22 de Junio del 2017

Lab.	Numero de muestra	Campo	Pb (ppm)	Cr (ppm)
12767		† 3.2	226.53	160.33

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



Nº 012767



Figura 29. Cadena de custodia de análisis de suelo contaminado de tratamiento T3.2.



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. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fla@lamolina.edu.pe



Nº 012768

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : ESTHER RODRIGO TINTOYA
PROYECTO : TRATAMIENTO DE SUELO
PROCEDENCIA : Universidad Peruana Unión
RESP. ANÁLISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 22 de Junio del 2017

Lab.	Número de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
	Campo			
12768	1	33	206.36	153.40

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



Figura 30. Cadena de custodia de análisis de suelo contaminado de tratamiento T3.3



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. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 012769

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : ESTHER RODRIGO TINTOYA
PROYECTO : TRATAMIENTO DE SUELO
PROCEDENCIA : Universidad Peruana Union
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 22 de Junio del 2017

Número de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
Lab.	Campo		
12769	4.1	106.61	98.51

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



Figura 31. Cadena de custodia de análisis de suelo contaminado de tratamiento T4.1



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HIDRÍCOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 012770

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : ESTHER RODRIGO TINTOYA
PROYECTO : TRATAMIENTO DE SUELO
PROCEDENCIA : Universidad Peruana Unión
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 22 de Junio del 2017

Lab.	Número de muestra	Campo	Pb (ppm)	Cr (ppm)
	12770	t 4.2	90.09	111.54

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO
Ing. Mac. Teresa Velásquez Belarano
JEFE DE LABORATORIO



Figura 32. Cadena de custodia de análisis de suelo contaminado de tratamiento T4.2



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. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 012771

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : ESTHER RODRIGO TINTOYA
PROYECTO : TRATAMIENTO DE SUELO
PROCEDENCIA : Universidad Peruana Unión
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 22 de Junio del 2017

Número de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
Lab.	Campo		
12771	t 4.3	86.33	120.84

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



Figura 33. Cadena de custodia de análisis de suelo contaminado de tratamiento T4.3

Anexo 5: Procesos de las Industrias Metalmeccánicas



Figura 34. *Materiales de carrocería para Furgones*



Figura 35. *Fabricación con Carrocería para Furgón de Camiones*



Figura 36. *Suelo contaminado con metales pesados en la Industria Metalmeccánica*



Figura 37. *Contaminación del suelo con hidrocarburos, pintura en la Industria Metalmecánica*

Anexo 6: Muestreo de Suelos para el tratamiento de Fitorremediación



Figura 38: *Profundidad de Muestra representativa*



Figura 39. *Muestreo de Suelo contaminado*



Figura 40. *Muestras representativas de la Industria Metalmeccánica*

Anexo 7: Muestreo de suelos para el tratamiento de Fitorremediación



Figura 41. *Cultivo de Lúcumo*



Figura 42. *Profundidad de muestreo de suelo agrícola*



Figura 43. *Muestreo de Suelo agrícola*

Anexo 8: Análisis del Poder germinativo de la especie *Helianthus annuus*



Figura 44. Inicio de crecimiento de la Especie *Helianthus annuus*



Figura 45. Poder germinativo del *Helianthus annuus*

Anexo 9: Construcción del sistema de tratamiento Fitorremediación



Figura 46. Preparación para el mezclado de suelo contaminado, con suelo agrícola y guano de isla



Figura 47. *Sembrado de Helianthus annuus*



Figura 48. *Cantidad de tratamientos y repeticiones del Experimento*



Figura 49. *Crecimiento de Helianthus annuus*



Figura 50. *Medición de tamaño de hoja, Altura de la especie Helianthus annuus*



Figura 51. *Análisis de pH en el Laboratorio de Química de la Universidad Peruana Unión*



Figura 52. *Análisis de Conductividad eléctrica en la Laboratorio de Química en la Universidad Peruana Unión*

Anexo 10: Análisis Foliar del *Helianthus annuus* respecto a Plomo y Cromo



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 013066

ANÁLISIS FOLIAR

SOLICITANTE : DAMARIS RODRIGO TINTAYA
 PROYECTO : CAPACIDAD FITORREMIADORA DEL GIRASOL SOBRE METALES PESADOS PARA INDUSTRIAS METALMECANICA
 UBICACIÓN : Lurigarcho - Chosica, Planta Metalmeccanica
 RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
 FECHA DE ANALISIS : La Molina, 18 de Setiembre del 2017

Lab.	Número de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
	Campo			
13066	T1.1		36.77	73.59



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

Figura 53. Cadena de Custodia de Análisis Foliar T1.1



Nº 013067

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



ANÁLISIS FOLIAR

SOLICITANTE : DAMARIS RODRIGO TINTAYA
PROYECTO : CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DEL GIRASOL SOBRE METALES PESADOS PARA INDUSTRIAS METALMECÁNICA
UBICACIÓN : Lurigancho - Crosica, Planta Metalmeccanica
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 18 de Setiembre del 2017

Lab.	Número de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
	Lab.	Campo		
13067		T1.2	45.02	65.74



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

Figura 54. Cadena de custodia de Análisis foliar T1.2



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 013068

ANÁLISIS FOLIAR

SOLICITANTE : DAMARIS RODRIGO TINTAYA
PROYECTO : CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DEL GIRASOL SOBRE METALES PESADOS PARA INDUSTRIAS METALMECÁNICA
UBICACIÓN : Lurigancho - Chosica, Planta Metalmeccanica
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 18 de Setiembre del 2017

Lab.	Número de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
	Campo			
13068	T2.2		51.37	24.36



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

Figura 55. Cadena de custodia de Análisis foliar de T2.2



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 013069



ANALISIS FOLIAR

SOLICITANTE : DAMARIS RODRIGO TINTAYA
PROYECTO : CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DEL GIRASOL SOBRE METALES PESADOS PARA INDUSTRIAS METALMECANICA
UBICACIÓN : Lurigancho - Chosica, Planta Metalmeccanica
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 18 de Setiembre del 2017

Lab.	Número de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
	Campo			
13069	T2.3		75.35	26.47



LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

 Ing. Msc. Teresa Velásquez Bejarano
 JEFE DE LABORATORIO

Figura 56. Cadena de custodia de Análisis foliar de T2.3



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 013070

ANÁLISIS FOLIAR

SOLICITANTE : DAMARIS RODRIGO TINTAYA
PROYECTO : CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DEL GIRASOL SOBRE METALES PESADOS PARA INDUSTRIAS METALMECANICA
UBICACIÓN : Lurigancho - Chosica, Planta Metalmeccanica
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 18 de Setiembre del 2017

Lab.	Número de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
	Campo			
13070	T3.1		46.57	8.58



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

Figura 57. Cadena de custodia de Análisis Foliar de T3.1



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 013071



ANALISIS FOLIAR

SOLICITANTE : DAMARIS RODRIGO TINTAYA
PROYECTO : CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DEL GIRASOL SOBRE METALES PESADOS PARA INDUSTRIAS METALMECANICA
UBICACIÓN : Lurigancho - Chosica, Planta Metalmeccanica
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 18 de Setiembre del 2017

Lab.	Número de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
	Campo			
13071	T3.2		30.89	9.45



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

Figura 58. Cadena de Custodia de Análisis Foliar de T3.2



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 013072



ANÁLISIS FOLIAR

SOLICITANTE : DAMARIS RODRIGO TINTAYA
PROYECTO : CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DEL GIRASOL SOBRE METALES PESADOS PARA INDUSTRIAS METALMECÁNICA
UBICACIÓN : Lurigancho - Chosica, Planta Metalmeccanica
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 18 de Setiembre del 2017

Lab.	Número de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
	Lab.	Campo		
13072		T3.3	74.65	9.62



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

Figura 59. Cadena de custodia de Análisis Foliar de T3.3



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 013073

ANALISIS FOLIAR

SOLICITANTE : DAMARIS RODRIGO TINTAYA
PROYECTO : CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DEL GIRASOL SOBRE METALES PESADOS PARA INDUSTRIAS METALMECANICA
UBICACIÓN : Lurigancho - Chosica, Planta Metalmeccanica
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 18 de Setiembre del 2017

Lab.	Número de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
	Campo			
13073	T4.1		42.56	15.60



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

Figura 60. Cadena de custodia de Análisis Foliar T4.1



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 013074

ANÁLISIS FOLIAR

SOLICITANTE : DAMARIS RODRIGO TINTAYA
 PROYECTO : CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DEL GIRASOL SOBRE METALES PESADOS PARA INDUSTRIAS METALMECÁNICA
 UBICACIÓN : Lurigancho - Chosica, Planta Metalmeccanica
 RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
 FECHA DE ANALISIS : La Molina, 18 de Setiembre del 2017

Lab.	Número de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
	Campo			
13074	T4.2		45.67	18.78



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

Figura 61. Cadena de custodia de Análisis Foliar de T4.2



Nº 013075

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



ANÁLISIS FOLIAR

SOLICITANTE : DAMARIS RODRIGO TINTAYA
PROYECTO : CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DEL GIRASOL SOBRE METALES PESADOS PARA INDUSTRIAS METALMECÁNICA
UBICACIÓN : Lurigancho - Chosica, Planta Metalmeccanica
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 18 de Setiembre del 2017

Lab.	Número de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
	Lab.	Campo		
13075		T4 . 3	35.67	23.56



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

Figura 62. Cadena de custodia de Análisis Foliar T4.3

Anexo 11: Análisis posterior al tratamiento de metales pesados en el suelo



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 013054

ANALISIS DE SUELO

SOLICITANTE : DAMARIS RODRIGO TINTAYA
PROYECTO : CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DEL GIRASOL SOBRE METALES PESADOS PARA INDUSTRIAS METALMECANICA
UBICACIÓN : Lurigancho - Chosica, Planta Metalmeccanica
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 18 de Setiembre del 2017

Lab.	Número de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
		Campo		
13054		T1.1	78.24	11.56



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

Figura 63. Cadena de Custodia de Análisis de suelo del post-tratamiento T1.1



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 013055

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : DAMARIS RODRIGO TINTAYA
PROYECTO : CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DEL GIRASOL SOBRE METALES PESADOS PARA INDUSTRIAS METALMECÁNICA
UBICACIÓN : Lurigancho - Chosica, Planta Metalmeccanica
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 18 de Setiembre del 2017

Lab.	Número de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
		Campo		
13055		T1.2	71.42	16.57



LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

 Ing. Msc. Teresa Velásquez Bejarano
 JEFE DE LABORATORIO

Figura 64. Cadena de Custodia de Análisis de suelo del post-tratamiento T1.2



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 013056



ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : DAMARIS RODRIGO TINTAYA
PROYECTO : CAPACIDAD FITORREMEDIAADORA DEL GIRASOL SOBRE METALES PESADOS PARA INDUSTRIAS METALMECÁNICA
UBICACIÓN : Lurigancho - Chosica, Planta Metalmeccanica
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 18 de Setiembre del 2017

Lab.	Número de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
	Campo			
13056	T1.3		120.56	140.42



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

Figura 65. Cadena de custodia de Análisis de suelo del Post-Tratamiento T1.3



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 013057

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : DAMARIS RODRIGO TINTAYA
PROYECTO : CAPACIDAD FITORREMEDIAADORA DEL GIRASOL SOBRE METALES PESADOS PARA INDUSTRIAS METALMECÁNICA
UBICACIÓN : Lurigancho - Chosica, Planta Metalmeccanica
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 18 de Setiembre del 2017

Lab.	Número de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
		Campo		
13057		T2 . 1	215.36	157.56



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

Figura 66. Cadena de custodia de análisis de suelo del post-tratamiento T2.1



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 013058

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : DAMARIS RODRIGO TINTAYA
 PROYECTO : CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DEL GIRASOL SOBRE METALES PESADOS PARA INDUSTRIAS METALMECANICA
 UBICACIÓN : Lurigancho - Chosica, Planta Metalmeccanica
 RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
 FECHA DE ANALISIS : La Molina, 18 de Setiembre del 2017

Lab.	Número de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
	Lab.	Campo		
13058		T2.2	99.94	75.33



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

Figura 67. Cadena de custodia de análisis de suelo del post-tratamiento T2.2



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 013059

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : DAMARIS RODRIGO TINTAYA
PROYECTO : CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DEL GIRASOL SOBRE METALES PESADOS PARA INDUSTRIAS METALMECANICA
UBICACIÓN : Lurigancho - Chosica, Planta Metalmeccanica
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 18 de Setiembre del 2017

Lab.	Número de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
	Campo			
13059	T2.3		96.38	66.52

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



Figura 68. Cadena de custodia de análisis de suelo del pos tratamiento T2.3



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 013060



ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : DAMARIS RODRIGO TINTAYA
PROYECTO : CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DEL GIRASOL SOBRE METALES PESADOS PARA INDUSTRIAS METALMECÁNICA
UBICACIÓN : Lurigancho - Chosica, Planta Metalmeccanica
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 18 de Setiembre del 2017

Número de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
Lab.	Campo		
13060	T3.1	81.20	53.95



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

Figura 69. Cadena de custodia de análisis de suelo del pos tratamiento T3.1



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 013061



ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : DAMARIS RODRIGO TINTAYA
PROYECTO : CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DEL GIRASOL SOBRE METALES PESADOS PARA INDUSTRIAS METALMECÁNICA
UBICACIÓN : Lurigancho - Chosica, Planta Metalmeccanica
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 18 de Setiembre del 2017

Lab.	Número de muestra		Cr (ppm)
	Campo		
13061	T3.2		56.98



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

Figura 70. Cadena de custodia de análisis de suelo del post-tratamiento T3.2



Nº 013062

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



ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : DAMARIS RODRIGO TINTAYA
PROYECTO : CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DEL GIRASOL SOBRE METALES PESADOS PARA INDUSTRIAS METALMECANICA
UBICACIÓN : Lurigancho - Chosica, Planta Metalmeccanica
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 18 de Setiembre del 2017

Lab.	Número de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
	Lab.	Campo		
13062		T3 . 3	62.74	31.26



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

Figura 71. Cadena de custodia de análisis de suelo del Post-tratamiento T3.3



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 013063

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : DAMARIS RODRIGO TINTAYA
PROYECTO : CAPACIDAD FITORREMEDIAADORA DEL GIRASOL SOBRE METALES PESADOS PARA INDUSTRIAS METALMECÁNICA
UBICACIÓN : Lurigarcho - Chosica, Planta Metalmeccanica
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 18 de Setiembre del 2017

Lab.	Número de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
	Campo			
13063	T4.1		51.01	79.89

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



Figura 72: Cadena de custodia de análisis de suelo del post-tratamiento T4.1



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 013064

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : DAMARIS RODRIGO TINTAYA
PROYECTO : CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DEL GIRASOL SOBRE METALES PESADOS PARA INDUSTRIAS METALMECANICA
UBICACIÓN : Lurigancho - Chosica, Planta Metalmeccanica
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 18 de Setiembre del 2017

Lab.	Número de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
	Lab.	Campo		
13064		T4 . 2	43.04	85.67



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

Figura 73. Cadena de custodia de análisis del suelo del post-tratamiento T4.2



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 013065

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : DAMARIS RODRIGO TINTAYA
PROYECTO : CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DEL GIRASOL SOBRE METALES PESADOS PARA INDUSTRIAS METALMECÁNICA
UBICACIÓN : Lurigancho - Chosica, Planta Metalmeccánica
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 18 de Setiembre del 2017

Lab.	Número de muestra		Pb (ppm)	Cr (ppm)
	Campo			
13065	T4.3		44.23	73.01



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

Figura 74. Cadena de custodia de análisis de suelo del post-tratamiento T4.3