

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**REMOCIÓN DE PLOMO MEDIANTE LA TECNICA DE LAVADO POR TRES  
AGENTES EXTRACTANTES DE UN SUELO CONTAMINADO A ESCALA DE  
LABORATORIO**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:**

**THALIA SHARMELY GAMARRA ATENCIO**

**2019**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
Tingo María – Perú



**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

## **ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 26 de Junio del 2019, a horas 11:10 a.m. en la Sala de Sesiones del Departamento Académico de Ciencias Ambientales, para calificar la Tesis titulada:

### **“REMOCIÓN DE PLOMO MEDIANTE LA TÉCNICA DE LAVADO POR TRES AGENTES EXTRACTANTES DE UN SUELO CONTAMINADO A ESCALA DE LABORATORIO”**

Presentado por la Bachiller: **THALIA SHARMELY GAMARRA ATENCIO**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de **“BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título de **INGENIERO AMBIENTAL**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del Título correspondiente.

Tingo María, 10 de Octubre del 2019.

  
**Dr. LUIS EDUARDO ORE CIERTO**  
**PRESIDENTE**

  
**Ing. MSc. JOSE LUIS PAREDES SALAZAR**  
**MIEMBRO**

  
**Ing. MSc. JOSÉ LÉVANO CRISÓSTOMO**  
**MIEMBRO**

  
**Ing. MSc. VICTOR M. BETETA ALVARADO**  
**ASESOR**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**REMOCIÓN DE PLOMO MEDIANTE LA TECNICA DE LAVADO POR TRES  
AGENTES EXTRACTANTES DE UN SUELO CONTAMINADO A ESCALA DE  
LABORATORIO**

Autor : GAMARRA ATENCIO, Thalía Sharmely  
Asesor : BETETA ALVARADO, Víctor Manuel  
Programa : Tecnologías para reducir la contaminación  
Línea de investigación : Ciencia y Tecnologías Ambientales  
Eje temático de investigación : Reducción de la contaminación del suelo  
Lugar de ejecución : Laboratorio de calidad y tratamiento de suelos  
- UNAS  
Duración : Fecha de inicio : 03/11/17  
Terminó : 03/06/18  
Financiamiento : Propio S/.4500

TINGO MARÍA - PERÚ

2019

## **DEDICATORIA**

*A Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de esta travesía.*

*A mis Abuelos Pablo, Eusebia, Domingo, Lusila por darme unos excelentes padres.*

*A mi padre Mario y hermanos Cesar, Freddy a pesar de nuestra distancia física, siento que están conmigo siempre y que este momento hubiera sido tan especial para ustedes como lo es para mí.*

*A mi madre Vilma, por ser el pilar más importante de la familia y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional.*

*A mis tíos Gaudencio, Edgardo, Jaime, Daria, Sudey, María que con sus consejos me han ayudado a afrontar los retos que se me han presentado a lo largo de mi vida y formar parte de mi formación, como persona y profesional.*

*A mis primos Ariana, Celeste, Valentino.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mis agradecimientos a la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por formar parte de mi formación académica y expreso mi reconocimiento al Msc. Víctor Manuel Beteta Alvarado, asesor de la presente tesis, quien me brindó su apoyo incondicional; a los señores miembros del jurado calificador: Msc. Jose Luis Paredes Salazar, Doc. Luis Eduardo Ore Cierzo, Doc. Jose Lévano Crisóstomo por sus oportunas sugerencias.

Mi agradecimiento a los laboratorios de Química, Suelos y Calidad y tratamiento de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

A mis amigas de infancia por su constante preocupación y palabras de aliento (Claudia, Aracely, Jusely, Dany, Marilyn)

A mis colegas y mejores amigos (Maricarmen, Lady, Ingrid, Pamela, Susan, Ema, Anie, Angelo, Renzo), porque siempre formamos una hermosa familia apoyándonos en todo momento durante todos estos años universitarios.

## ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Objetivo general .....	3
1.2. Objetivos específicos .....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	4
2.1. Antecedentes de la investigación .....	4
2.2. El suelo .....	8
2.3. Propiedades químicas de los suelos .....	10
2.3.1. pH .....	11
2.3.2. Carbono orgánico .....	12
2.3.3. Nitrógeno (N) .....	13
2.3.4. Capacidad de intercambio catiónico –CIC.....	13
2.3.5. Calcio.....	14
2.3.6. Magnesio .....	15
2.3.7. Fosforo disponible.....	15
2.3.8. Potasio.....	16
2.4. Contaminación del suelo por metales pesados .....	18
2.5. Plomo.....	21
2.5.1. Características fisicoquímicas.....	21
2.5.2. Situación actual.....	22

2.5.3. Fuentes de contaminación .....	22
2.6. Técnicas de restauración de suelos contaminados .....	23
2.6.1. Considerando las estrategias de restauración .....	24
2.6.2. Lugar en el que se realiza el proceso de remediación.....	24
2.6.3. Tipo de tratamiento .....	25
2.7. Tratamiento de lavado de suelos.....	27
2.7.1. Factores que influyen en la implementación de la técnica de lavado de suelos .....	28
2.8. Quelacion .....	31
2.8.1. Agentes quelantes empleados para el proceso de lavado de suelo .....	33
2.9. Normativa nacional para la contaminación del suelo .....	35
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	38
3.1. Ubicación .....	38
3.1.1. Ubicación política .....	38
3.1.2. Ubicación geográfica.....	38
3.2. Materiales de campo .....	38
3.3. Materiales de laboratorio .....	38
3.4. Equipos de laboratorio .....	39
3.5. Reactivos (Extractantes, contaminante, indicadores) .....	39
3.6. Materiales para el equipo .....	39

3.7. Software.....	40
3.8. Metodología .....	40
3.8.1. Diseño del sistema de lavado de suelo escala de laboratorio .....	40
3.8.2. Recolección del suelo a tratar .....	41
3.8.3. Contaminación de las muestras de suelo.....	42
3.8.4. Preparación de la solución para el lavado de suelo con tres agentes extractantes.....	42
3.8.5. Operación del sistema .....	43
3.8.6. Determinación del extractante y concentración óptima del tratamiento .....	44
3.8.7. Determinación de la eficiencia de remoción del plomo.....	44
3.8.8. Determinación de los efectos de los extractantes en los parámetros químicos del suelo .....	45
3.9. Diseño de la investigación.....	52
3.9.1. Especificación de tratamientos.....	52
3.9.2. Tipo de investigación .....	53
3.9.3. Unidad experimental .....	53
3.9.4. Variables en estudio.....	53
3.9.5. Tratamientos en estudio.....	53
3.9.6. Diseño estadístico.....	53
3.9.7. Análisis de varianza .....	54

IV.	RESULTADOS .....	56
4.1.	Extractante y concentración óptima en la técnica de lavado de suelo escala de laboratorio .....	56
4.2.	Eficiencia de remoción de plomo .....	59
4.3.	Determinación de los efectos de los extractantes en los parámetros químicos del suelo.....	60
4.3.1.	Efecto del pH .....	61
4.3.2.	Efecto de Materia Orgánica.....	64
4.3.3.	Efecto de capacidad de Intercambio catiónico (CIC) .....	66
4.3.4.	Efecto de bases cambiables (calcio y magnesio) .....	69
4.3.5.	Efecto en Nitrógeno (N) .....	74
4.3.6.	Efecto en Fosforo disponible (P) .....	76
4.3.7.	Efecto de potasio disponible (K).....	79
V.	DISCUSION .....	83
VI.	CONCLUSIÓN .....	93
VII.	RECOMENDACIONES .....	94
VIII.	ABSTRACT .....	95
IX.	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.....	96
	ANEXOS .....	101

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. pH del suelo.....	12
2. Niveles de fosforo (ppm) según la textura del suelo.....	16
3. Niveles de potasio (ppm) según la textura del suelo.....	17
4. Estimación de la emisión antropogénica de plomo en el suelo.....	23
5. Principales ventajas y desventajas de la aplicación del lavado de suelo empleando agentes extractantes.....	30
6. Estándares de Calidad Ambiental Orgánicos para el suelo.....	36
7. Estándares de Calidad Ambiental Inorgánicos para el Suelo.....	37
8. Tratamientos en estudio.....	53
9. Número de Factores del diseño factorial.....	54
10. Representación de la distribución del arreglo factorial.....	54
11. Análisis de Varianza del diseño factorial.....	55
12. ANOVA con respecto al plomo.....	57
13. Prueba de Tukey para el Pb por extractante al 95 % de confianza.....	58
14. Contraste de diferencias significativas entre los distintos extractantes para el Pb.....	58
15. Prueba de Tukey para el Pb por concentración al 95% de confianza.....	59
16. Contraste de diferencias significativas entre las distintas concentraciones para el Pb.....	59

17. Resultado del análisis químico inicial-final de los tratamientos con agentes extractantes .....	60
18. ANOVA con respecto al pH.....	62
19. Prueba de Tukey para el pH por extractante al 95 % de confianza .....	63
20. Contraste de diferencias significativas entre los distintos extractantes para el pH.....	63
21. Prueba de Tukey para el pH por concentración al 95 % de confianza.....	63
22. Contraste de diferencias significativas entre las distintas concentraciones para el pH.....	63
23. ANOVA con respecto a materia orgánica .....	65
24. Prueba de Tukey para materia orgánica por extractante al 95 % de confianza .....	65
25. Contraste de diferencias significativas entre los distintos extractantes para la materia orgánica .....	65
26. Prueba de Tukey para materia orgánica por concentración al 95 % de confianza .....	66
27. Contraste de diferencias significativas entre las distintas concentraciones para la materia orgánica .....	66
28. ANOVA con respecto a la capacidad de intercambio catiónico .....	67
29. Prueba de Tukey para C.I.C por extractante al 95 % de confianza .....	68
30. Contraste de diferencias significativas entre los distintos extractantes para C.I.C .....	68
31. Prueba de Tukey para C.I.C por concentración al 95 % de confianza .....	68

32. Contraste de diferencias significativas entre las distintas concentraciones para C.I.C .....	68
33. ANOVA con respecto al calcio .....	70
34. Prueba de Tukey para calcio por extractante al 95 % de confianza .....	70
35. Contraste de diferencias significativas entre los distintos extractantes para calcio .....	70
36. Prueba de Tukey para calcio por concentración al 95 % de confianza .....	71
37. Contraste de diferencias significativas entre las distintas concentraciones para calcio .....	71
38. ANOVA con respecto al magnesio .....	72
39. Prueba de Tukey para magnesio por extractante al 95 % de confianza .....	73
40. Contraste de diferencias significativas entre los distintos extractantes para magnesio .....	73
41. Prueba de Tukey para magnesio por concentración al 95 % de confianza ...	73
42. Contraste de diferencias significativas entre las distintas concentraciones para magnesio .....	74
43. ANOVA con respecto al nitrógeno.....	75
44. Prueba de Tukey para nitrógeno por extractante al 95 % de confianza.....	75
45. Contraste de diferencias significativas entre los distintos extractantes para nitrógeno .....	76
46. Prueba de Tukey para nitrógeno por concentración al 95 % de confianza ...	76
47. Contraste de diferencias significativas entre las distintas concentraciones para nitrógeno .....	76
48. ANOVA con respecto al fosforo.....	78

49. Prueba de Tukey para fosforo por extractante al 95 % de confianza.....	78
50. Contraste de diferencias significativas entre los distintos extractantes para fosforo .....	78
51. Prueba de Tukey para fosforo por concentración al 95 % de confianza .....	79
52. Contraste de diferencias significativas entre las distintas concentraciones para fosforo .....	79
53. ANOVA con respecto al potasio .....	80
54. Prueba de Tukey para potasio por extractante al 95 % de confianza .....	81
55. Contraste de diferencias significativas entre los distintos extractantes para potasio.....	81
56. Prueba de Tukey para potasio por concentración al 95 % de confianza.....	81
57. Contraste de diferencias significativas entre las distintas concentraciones para potasio.....	82
58. Caracterización físico del suelo .....	102
59. Promedio de concentraciones finales de plomo por extractantes y concentraciones .....	102
60. Porcentaje de remoción del plomo con referencia al tipo de extractante ....	102
61. Porcentaje de remoción del plomo con referencia a las concentraciones de los extractantes.....	103
62. Eficiencia de remoción de Pb de los tratamientos .....	103
63. pH de las soluciones de lavado.....	104

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Modelo de columna para tratamiento de suelo.....	4
2. Origen y formación del suelo, factores influyentes .....	9
3. Proceso de lavado de suelo .....	31
4. Montaje del sistema experimental .....	41
5. Flujograma de la investigación.....	52
6. Extractante óptimo y concentración óptima.....	57
7. Eficiencia de remoción de plomo.....	60
8. Variación del pH del suelo en relación al porcentaje de remoción de plomo ..	62
9. Variación del porcentaje de M.O del suelo en relación al porcentaje de remoción de plomo .....	64
10. Variación de la Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo en relación al porcentaje de remoción de plomo .....	67
11. Variación del calcio en el suelo en relación al porcentaje de remoción de plomo.....	69
12. Variación del magnesio en el suelo en relación al porcentaje de remoción de plomo.....	72
13. Variación del porcentaje de Nitrógeno del suelo en relación al porcentaje de remoción de plomo .....	74

14. Variación del fosforo del suelo en relación al porcentaje de remoción de plomo.....	77
15. Variación del potasio del suelo en relación al porcentaje de remoción de plomo.....	80
16. Curva estándar de calibración empleada en la lectura de plomo.....	105
17. Parámetros de calibración del espectrofotómetro de absorción atómica .....	106
18. Resultados de la lectura de plomo en el espectrofotómetro de absorción atómica.....	106
19. Análisis químico del suelo inicial .....	107
20. Análisis químico del suelo contaminado con plomo.....	108
21. Análisis químico del suelo tratado con agua destilada .....	109
22. Análisis químico del suelo tratado con EDTA .....	110
23. Análisis químico del suelo tratado con ácido cítrico.....	111
24. Análisis químico del suelo tratado con ácido acético.....	112
25. Pesaje de las muestras del suelo .....	113
26. Preparación de la dilución de sulfato de plomo .....	113
27. Contaminación de las muestras de suelo con dilución de sulfato de plomo .	114
28. Acondicionamiento del equipo de lavado de suelo a escala laboratorio .....	114
31. Extractantes utilizados para la remoción de plomo.....	115
32. Lavado de suelos a escala laboratorio .....	115
33. Secado de las muestras de suelo .....	116
34. Molido de las muestras de suelo .....	116
35. Muestras de suelos para sus respectivos análisis físicos y químicos .....	117
36. Lectura de PH de las muestras de suelo .....	117

37. Filtraciones de las muestras de suelo para análisis químicos.....	118
38. Lectura de PH de los extractantes utilizados.....	118
39. Diluciones para la lectura de Pb en el espectrofotómetro de absorción atómica.....	119
40. Lectura de las muestras de Pb.....	119
41. Mapa de ubicación del laboratorio de calidad y tratamiento de suelos - UNAS .....	120

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es la remoción del plomo del suelo mediante la técnica de lavado de suelo escala de laboratorio con tres tipos de extractantes como son el EDTA, ácido cítrico y ácido acético, a dos concentraciones diferentes de 0,3M y 0,5M; estas variables se arreglaron factorialmente, generando 6 tratamientos y un testigo, para cada tratamiento se contó con 3 repeticiones. Dichos tratamientos se implementaron en columnas de sedimentación de material tipo PET de dimensiones 22cmx15cm como unidad experimental.

Se determinó que el extractante más eficiente en la remoción del plomo del suelo es el EDTA, seguido del ácido cítrico y por último el ácido acético, por otro lado se determinó que la concentración más óptima es a 0,5M, concluyendo que el mejor tratamiento para el lavado de suelo es con el extractante EDTA a 0,5M; alcanzando una eficiencia de remoción de plomo de 69.5%.

**Palabras clave:** Remoción, plomo, técnica de lavado, agentes extractantes.

## I. INTRODUCCIÓN

Según MINAM (2013) los rangos de degradación y contaminación de suelos en los países son altos, comprometiendo el 27% del total del territorio nacional que implica un total de 34 384 796 hectáreas. Este total se reparte en 3 862 786 ha desertificadas (3% de la superficie total del país) y 30 522 010 hectáreas en vías a terminar en desertificación (24% del territorio nacional). Según la Evaluación Mundial de la Degradación de la Tierra y Manejo Sostenible (GLADA, siglas en inglés), solamente entre 1981 y el 2003 en el Perú se deterioraron unas 19 271 100 hectáreas, lo cual sería el 15,3% del territorio. La tasa simple de deterioro alcanzo el 4,5% anual, alterando casi el 11% de los habitantes en el país. Si se continuase con este ritmo de descontaminación, al 2100, el 64% de la superficie territorial del Perú se encontraría afectada por procesos de este tipo, por tanto incluye a la Costa y Sierra que constituye el 38% del territorio nacional, donde se asienta el 88% de la población y se desarrollan actividades agrarias que generan el 9% del PIB, 30% de la PEA, 9% de las exportaciones y casi la totalidad de actividades mineras e industriales. El deterioro de los suelos fue tomado en consideración como una problemática ambiental seria y su manejo sostenible como uno de los desafíos de mayor importancia para la productividad de alimentos, el abastecimiento y conservación de agua en el siglo 21 (Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, Johannesburgo 2002, Sudáfrica).

En la normativa peruana el plan de descontaminación de suelo (PDS) es una herramienta de gestión ambiental, acorde a lo establecido en el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo. La presente investigación esta enmarcada dentro de una propuesta con acciones de remediación, que forma parte de los lineamientos de un (PDS); se prepara en base a la de caracterización de lugares contaminados y siendo el caso en el estudio de evaluación de riesgo a la salud y el ambiente (ERSA). Este tipo de acciones de descontaminación que se aplicarían, solo o en combinaciones son: acciones para evitar una dispersión en cuanto a los contaminantes, acciones para el control del uso del suelo, acciones para el monitoreo del sitio contaminado y acciones de remediación para la eliminación de los contaminantes del sitio.

En función de estas medidas cabe resaltar que el cambio de uso de los suelos nos muestra un notorio progreso en la agricultura. En comparación con la superficie del año 2005, los terrenos agrícolas aumentarían alrededor de 39%, 86% y 133% para los años 2035, 2065 y 2095, respectivamente y el plomo depositado en el suelo presenta uno de los principales factores de la contaminación y grave peligro para la salud de todas las personas puesto que la disposición química del plomo se encuentra en función de la mineralogía, del pH, contenido en materia orgánica, asimismo la naturaleza de los compuestos de plomo. Por ende, el uso de procesos de extracción química puede considerarse un instrumento óptimo para estimar el riesgo latente de contaminación a causa de dicho metal, razón por la cual se formula la siguiente pregunta ¿Cuál es la

eficiencia de remoción de plomo mediante la técnica de lavado por tres agentes extractantes de un suelo contaminado a escala de laboratorio?

Por tanto se plantea como hipótesis, que la eficiencia de remoción de plomo mediante la técnica de lavado por tres agentes extractantes de un suelo contaminado a escala de laboratorio superara el 50%

### **1.1. Objetivo general**

- Remover el plomo mediante la técnica de lavado por tres agentes extractantes de un suelo contaminado a escala de laboratorio.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Determinar el extractante y concentración optima del tratamiento en la técnica de lavado de suelo escala de laboratorio.
- Determinar la eficiencia de remoción del plomo.
- Determinar los efectos de los extractantes en los parámetros químicos del suelo.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Antecedentes de la investigación

ALCAINO (2012), llevo a cabo su estudio de lavado de suelo en una columna de acrílico de 10 cm de diámetro y 90 cm de altura, la cual se rellenó en la parte inferior con polipropileno granulado, y luego se empaco con una muestra de 5 kg de suelo. Por último, en la parte superior de la columna se agregó nuevamente polipropileno. El uso del propileno granulado tiene como propósito dejar la generación de caminos preferenciales del extractante usado en la columna.



Fuente: ALCAINO (2012)

Figura 1. Modelo de columna para tratamiento de suelo

A la muestra de suelo, se le realizó los parámetros físicos y químicos (pH, materia orgánica y metales totales). También se le midió el volumen de poro, la metodología utilizada fue el método de la imbibición. La importancia de medir el volumen de poro es la referencia para la cantidad de solución a pasar por la columna. El volumen estimado fue de 1,2 litros.

Dado que, según la literatura, los ácidos son adecuados para la extracción de arsénico, se generaron dos experimentos de lavado de suelos: en una columna se realizó un lavado secuencia, adicionando EDTA y luego ácido fosfórico. En la otra columna se adiciono primero el EDTA y luego se agregó el ácido sulfúrico. La concentración usada de EDTA fue 0,1M y para el caso de los ácidos fosfórico y sulfúrico fue de 0,5M. La idea de usar dos experimentos de lavado es poder comparar el efecto de los ácidos en la extracción de arsénico y también tener un duplicado experimental de esta tecnología con respecto a la extracción de cobre.

Debido al poco porcentaje de remoción de arsénico con los ácidos en una concentración 0,5M; se hizo un segundo experimento de remediación para mejorar la recuperación de arsénico. Es por ello que se aumentó el volumen de extractante y su concentración. La concentración usada de ácido fosfórico y ácido sulfúrico fue de 3M, con un volumen agregado de 8 litros. La recolección de muestras fue analizada en el espectrofotómetro de absorción atómica.

MARTINEZ *et al.* (2010), realizó varias pruebas a nivel laboratorio para la remocion de metales en suelo utilizando diferentes soluciones ácidas y agentes quelantes. Se pusieron 5 g de muestra de suelo en un matraz y se le agrego 50 ml del agente extractante. Para evaluar el efecto del extractante se

utilizaron soluciones de EDTA 0,05 M; ácido acético 0,1M; acetato de sodio 0,1M y agua. La mezcla de extractante-tierra se mantuvo en agitación durante un lapso de 8 horas para ocasionar la solubilización del metal. Una vez que transcurrió el tiempo de extracción, se filtró la muestra y el filtrado se le determinó la concentración de plomo. Las determinaciones de plomo en el extracto se generaron utilizando un espectrómetro de absorción atómica.

En una segunda etapa se hicieron pruebas de extracción a varios valores de pH, entre 7,67 y 2,0 para conocer el efecto de este parámetro sobre la eficiencia de extracción del plomo. Después de ello se realizaron pruebas de extracción para evaluar el efecto de la concentración del extractante sobre el proceso, para lo cual se usaron soluciones de 0,05; 0,1; 0,2 y 0,3 M de ácido acético, 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 y 0,5 M para el acetato de sodio, así como 0,05; 0,1 y 0,2 M para el EDTA. Por último, con el fin de saber el efecto del tiempo de extracción, se realizaron pruebas usando diferentes tiempos de contacto entre 4 y 24 horas.

El autor llega a la conclusión en efectos sobre el extractante de que el plomo no se puede extraer del suelo cuando se usa únicamente agua. Sin embargo, cuando se utilizan los otros extractantes se pueden alcanzar concentraciones importantes en la solución que van del orden de 2000 mg/L cuando se utiliza ácido acético, 3500 mg/L para el acetato y valores mayores a 3000 con el EDTA. Considerando la cantidad de muestra de extractante y suelo, así como las concentraciones de plomo en el extracto, se pueden calcular los porcentajes de extracción y muestran que se pueden lograr obtener una

extracción del 60% cuando se utiliza acetato de sodio (con un pH entre 3 y 4) y valores por encima al 55% cuando se utiliza EDTA.

Por otro lado, el autor menciona que existe diferencia en efectos del pH, cuando se hicieron pruebas de extracción con los mismos extractantes a diferentes valores de pH se logró observar que hay variaciones considerables en los porcentajes de extracción logrados, los mejores porcentajes de extracción de valores cercanos al 60%, se obtuvieron a un valor de pH de 2 en el caso del EDTA y 3 en el caso del acetato.

Cuando se usa acetato de sodio como extractante se tienen porcentajes de extracción por encima al 55% a lo largo del rango de pH de 2 a 4. Un aumento del pH de la solución reduce los porcentajes de extracción de Pb, a tal grado que una solución con pH de 6 tiene una baja capacidad de extracción. Cuando se usa EDTA se tienen porcentajes de degradación de plomo del suelo cercanos al 30% en el rango de pH de 3 a 6. Este porcentaje aumentará de manera importante cuando el pH disminuye a un valor de 2, circunstancia que permite aumentar casi al doble la capacidad de extracción del plomo.

Finalmente, también es importante citar los efectos de la concentración de los extractantes, con el fin de evaluar el efecto de la fuerza iónica, se generaron pruebas de extracción con los mismos extractantes usando distintas concentraciones, de acuerdo a los valores hallados en el procedimiento.

Los resultados generados que la concentración de la solución extractante tiene un efecto muy importante sobre la capacidad de extracción de plomo del suelo. Cuando se usa ácido acético a distintas concentraciones se

aprecia que a concentraciones de 0,1M y menores se obtendrán porcentajes de extracción por debajo del 40%.

Al aumentar la concentración se logra elevar la eficiencia de extracción, lográndose remover el 54% del plomo del suelo cuando se utiliza una solución 0,3M.

Cuando se usa una solución de acetato de sodio se reconocen porcentajes de extracción cercanos al 50% cuando se utilizan soluciones entre el 0,2 y 0,4M. Al usarse una solución más concentrada, del orden de 0,5M, se logra elevar este porcentaje a un valor cercano al 70%. Los resultados generados utilizando soluciones de EDTA, dejan claro que se pueden obtener elevados porcentajes de extracción de plomo del suelo. El uso de soluciones 0,05 y 0,1M permite generar porcentajes del orden del 70%, porcentaje que se eleva de manera importante cuando se usa una concentración 0,2M, ya que se logra extraer el 97% del plomo presente en la muestra. Este elevado porcentaje de extracción de plomo logrado con el EDTA puede ser debido al alto poder acomplejante de este compuesto, considerablemente mayor a los otros extractantes utilizados (MARTINEZ *et al.*, 2010).

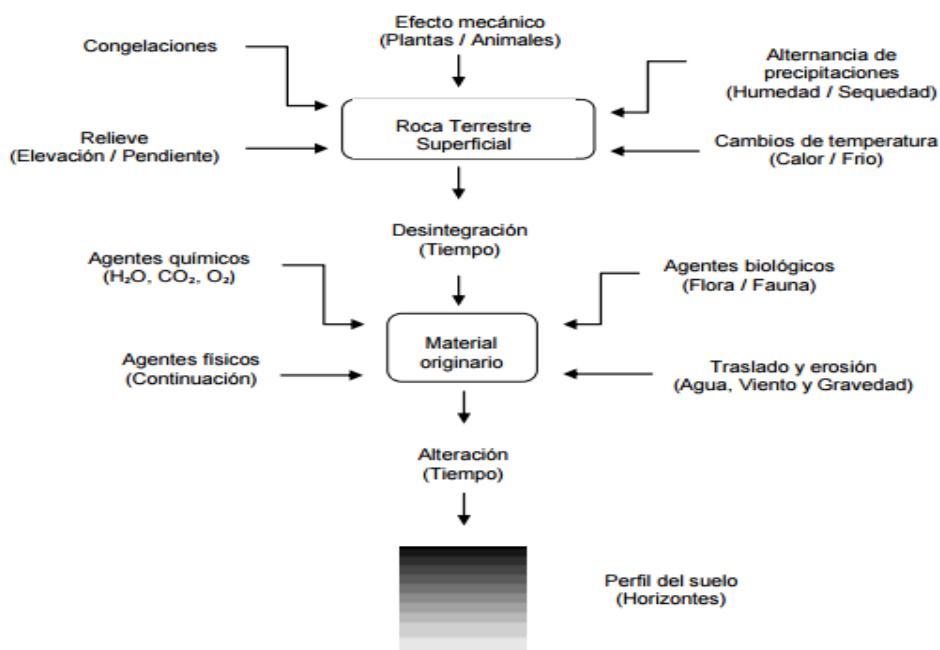
## **2.2. El suelo**

Se considera suelo al sustrato en el que se lleva a cabo la vida vegetal y animal, y que actúa como filtro y transformador de los contaminantes que pudiesen encontrarse en el mismo.

También se puede considerar como “suelo”, al cuerpo natural que se encuentra en la capa superior de la corteza terrestre y está situado sobre el lecho

rocoso. El suelo está conformado por materia orgánica, minerales, aire y organismos vivos. Éste se conforma debido a los fenómenos físicos, químicos y biológicos que se generan sobre el medio rocoso (roca madre), ocasionando su meteorización y dando como resultado un suelo.

La creación de un suelo tiene como punto de partida las rocas en la superficie terrestre que, por medio de la meteorización, son desintegradas y modificadas por acción de diversos agentes como son: la topografía, el clima, el tiempo y algunos factores bióticos. En la siguiente figura se observa un diagrama de la formación del suelo (DE LA PEÑA, 2014).



Fuente: DE LA PEÑA (2014)

Figura 2. Origen y formación del suelo, factores influyentes

El suelo es considerado como un medio con capacidad prácticamente ilimitada para almacenar y ser depósito de residuos contaminantes sin ocasionar efectos nocivos, al menos de forma inmediata;

actualmente se conoce al suelo como un recurso no renovable, ya que su degradación se presenta de manera relativamente rápida y su formación y regeneración son extremadamente suaves. La velocidad de la formación de un suelo puede llegar a manifestarse desde 1 mm/año hasta 0,001 mm/año, siendo más rápido en climas cálidos y húmedos, donde la actividad de los organismos es más activa y la vegetación más abundante (DE LA PEÑA, 2014).

Según organismos internacionales, el suelo es un recurso finito, lo que implica que su pérdida y degradación no son reversibles en el curso de una vida humana. Por otro lado el componente fundamental de los recursos de tierras, del desarrollo agrícola y la sostenibilidad ecológica, es la base para la producción de alimentos, combustibles y fibras y para muchos servicios ecosistémicos esenciales. No obstante, pese a que es un recurso natural muy importante, frecuentemente no se le presta la debida atención. La superficie natural de suelos productivos es limitada y se encuentra sometida a una creciente presión debido a la intensificación y el uso competitivo que identifica el aprovechamiento de los suelos con fines agrícolas, forestales, pastorales y de urbanización, y para satisfacer la demanda de producción de alimentos, energía y extracción de materias primas de la creciente población. Los suelos deben ser reconocidos y valorados por sus condiciones productivas y por su contribución a la seguridad alimentaria y al mantenimiento de servicios ecosistémicos fundamentales (FAO, 2015).

### **2.3. Propiedades químicas de los suelos**

Al hallarse las propiedades químicas de los suelos, se estudia la composición característica y reacciones químicas de los suelos. Los mayores

estudios se han dirigido a tratar lo relacionado con la dinámica de los nutrientes y la fertilidad de los suelos

Las propiedades químicas tienen gran relación con el uso y manejo de los suelos y por tanto con su producción sostenible. Son de especial relevancia las características relacionadas con la absorción de los nutrientes por los coloides del suelo, con la solubilidad de estos nutrientes y con las formas iónicas en que se hallasen estos para ser o no asimilados por las plantas. Las principales características físicoquímicas son: el intercambio iónico, el pH y el potencial Redox (GARAVITO, 2012).

### **2.3.1. pH**

El cambio iónico es un proceso reversible por el cual se intercambian cationes y aniones entre las fases líquida y sólida o entre las fases sólidas, si están en contacto una con otra. Este cambio es a causa de la fracción arcilla (menor de 2 micras) y a la materia orgánica; es decir, a la fracción coloidal del suelo. En general el suelo tiene carga neta negativa, que eleva el pH muy ácido la carga positiva puede ser mayor que la negativa. Existe un valor de pH en que las cargas positivas y negativas son iguales. A este valor de pH se le conoce como "punto isoeléctrico" o punto de carga cero y se le encuentra en la parte ácida (pH alrededor de 4).

Las arcillas de relación 1:1 (caolinita y halloysita), alófana, sílice amorfa y los óxidos e hidróxidos hidratados, cristalinos y no cristalinos de hierro, aluminio, titanio y manganeso y la materia orgánica, presentan cargas negativas o positivas de acuerdo al pH del medio. La acidez en los suelos los afecta en la reducción del crecimiento de las plantas, reducción de la disponibilidad de

algunos nutrientes como Ca, Mg, P y K , favorece la solubilización de elementos tóxicos para las plantas como el Al y Mn (GONZALEZ, 2014).

Cuadro 1. pH del suelo

Valor pH	Interpretación
< 4,5	Extremadamente ácido
4,6 a 5,0	Muy fuertemente ácido
5,1 a 6,0	Medianamente ácido
6,1 a 6,5	Ligeramente ácido
6,6 a 7,3	Casi neutro
7,4 a 7,8	Ligeramente alcalino
7,9 a 8,4	Medianamente alcalino
8,5 a 9,0	Fuertemente alcalino
> 9,0	Muy fuertemente alcalino

Fuente: González (2014)

### 2.3.2. Carbono orgánico

La materia orgánica, en sus distintas formas, tiene efectos notorios en casi todas las propiedades del suelo. Otros beneficios considerables de la materia orgánica son los que tienen que ver con su influencia en la nutrición vegetal. Está ampliamente demostrado que la utilización de abonos orgánicos incrementa la producción de los cultivos, incluso cuando son aplicados en suelos que presentan elevados contenidos de materia orgánica nativa.

El contenido de materia orgánica se obtiene a partir del carbono orgánico determinado en el laboratorio a partir de la ecuación

$$MO = \%C \times 1,724 \dots (1)$$

Se considera que cuando el contenido de carbono orgánico da valores por encima al 8%, no debe ser tenido en cuenta y que, el contenido de materia orgánica del suelo en cuestión deba ser evaluado por el método de calcinación a 400°C (GONZALEZ, 2014).

### **2.3.3. Nitrógeno (N)**

Es un elemento importante en la composición de las proteínas y clorofila de las plantas. Las formas minerales del N (amonio (NH<sub>4</sub>) y nitratos), provienen principalmente de la descomposición de la materia orgánica, por los micro y macroorganismos del suelo, por otro lado la cantidad de nitrógeno mineralizado en el suelo es dependiente de la naturaleza química de la materia orgánica, pero fundamentalmente a su protección física esto debido a la interacción con las partículas minerales coloidales y a la intensidad de la perturbación del suelo. El clima es el factor más influyente en el porcentaje de N en el suelo, parece incrementarse al bajar la temperatura y aumentar la precipitación, dentro de ciertos límites. El contenido de N tiende a disminuir con la profundidad del suelo y su concentración es variable en el humus.

El incremento en las cantidades totales de nitrógeno en el suelo puede suceder a través de la fijación biológica atmosférica, por las lluvias o por la fertilización orgánica y mineral. Por otro lado, pueden ocurrir pérdidas debido a la exportación de cultivos, lixiviación, la erosión y la volatilización (SAENZ, 2011).

### **2.3.4. Capacidad de intercambio catiónico –CIC**

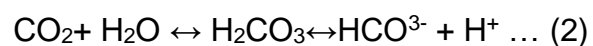
La capacidad de intercambio catiónico - CIC se puede interpretar como la medición de las cargas negativas que se hallan en el suelo. Se comprende como intercambio catiónico los procesos reversibles por los cuales las partículas sólidas del suelo adsorben iones de la fase acuosa y desadsorben al mismo tiempo cantidades equivalentes de otros cationes y establecen un equilibrio entre las dos fases.

Los cationes más considerables en los procedimientos de intercambio catiónico, por las cantidades de ellos que participan en dichos procesos, son  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$  (las bases del suelo) y  $\text{NH}_4^+$ ; en suelos ácidos, a partir de ciertos valores de pH, CO, el  $\text{Al}^{3+}$  juega un papel muy importante en el complejo de intercambio catiónico del suelo conformando, junto con el  $\text{H}^+$ , la acidez intercambiable del mismo (GONZALEZ, 2014).

### 2.3.5. Calcio

La mayor cantidad del calcio nativo del suelo está asociado a feldespatos, piroxenos, anfíboles y minerales arcillosos.

Los suelos en zonas húmedas pueden presenciar un pH ácido en la capa arable, debido a la remoción de Ca y otros cationes por excesivo lavaje. Conforme el agua conteniendo  $\text{CO}_2$ , percola a través del suelo, el  $\text{H}^+$  formado desplaza el  $\text{Ca}^{2+}$  (y otros cationes básicos) del complejo de cambio, haciendo el suelo gradualmente ácido, como se sintetiza en la siguiente reacción



El contenido de calcio es dependiente principalmente del material parental, contenido de arcilla, materia orgánica, así como del grado de meteorización y lixiviación. Usualmente es el catión dominante en el suelo, aún a niveles bajos de pH.

Normalmente las cantidades de  $\text{Ca}^{2+}$  presente en los suelos exceden las necesidades de los cultivos. Una parte considerable es asimilada por los coloides orgánicos e inorgánicos del suelo, ocupando en promedio entre el 70 a 80 % de las posiciones de cambio de los coloides en suelos calcáreos.

Las formas más usualmente encontradas en los suelos son: fosfatos, carbonatos, sulfatos, y algunos silicatos, y pueden estar unidos a los ácidos húmicos formando humatos (MOSQUERA, 2017).

### **2.3.6. Magnesio**

El magnesio en el suelo viene de la meteorización de rocas conteniendo minerales primarios como la biotita, dolomita, hornablenda, olivino y serpentina. Se le halla también en minerales secundarios como las arcillas illita, clorita, montmorillonita y vermiculita.

Su contenido es variable desde 1 g/kg en suelos arenosos de regiones húmedas a 40 g/kg en suelos de textura fina de zonas áridas, formados de material parental alto en Mg.

Durante la meteorización de los minerales, el magnesio es liberado al suelo, donde puede perderse por percolación, ser asimilado por organismos vivos, adsorberse al complejo de cambio o precipitar como minerales secundarios.

Así mismo, el  $Mg^{2+}$  cambiante normalmente varía entre 4 a 20 % de la capacidad de intercambio catiónico (MOSQUERA, 2017).

### **2.3.7. Fósforo disponible**

Entre los tres elementos principales (N-P-K), el fósforo es solicitado por las plantas generalmente en pequeñas cantidades; sin embargo, a su investigación se le ha dado gran índole a causa de la baja disponibilidad de este elemento en la mayoría de los suelos agrícolas del mundo, esto debido no solo a su contenido total mínimo, sino a las múltiples reacciones que ocurren en el suelo que lo llevan a formas no asimilables (GONZALEZ, 2014).

El fósforo tiene un papel importante en el ciclo de vida de las plantas; es constituyente de ácidos nucleicos, vitaminas, enzimas, fosfolípidos, fitina y además es indispensable en procesos donde hay transformaciones de energía. Desempeña un papel importante en fotosíntesis, respiración, almacenamiento y transferencia de energía, división y crecimiento celular y otros procesos llevados a cabo en la planta. Promueve la rápida formación y crecimiento de raíces; mejora la calidad de las hortalizas, frutas y granos y es vital para formación de semillas. Como componente de los ácidos nucleicos es importante en la transferencia de características hereditarias (GARAVITO, 2012)

La cantidad total de fósforo en la capa arable varía ampliamente, dependiendo sobre todo del tipo de material de origen del suelo; generalmente es más alto en suelos calcáreos y bajo en suelos de alto grado de intemperismo provenientes de rocas ácidas. Las cantidades van de 0,01 a 0,15% (200-3.000 Kg. /Ha), con promedio de cerca de 0,06% (1-200 Kg./Ha) (GONZALEZ, 2014).

Cuadro 2. Niveles de fosforo (ppm) según la textura del suelo

	Bajo	Normal	Alto
Secano			
Arenoso	< 8	9-12	> 13
Franco	< 12	13-18	> 19
Arcilloso	< 15	16-24	> 25
Regadío			
Arenoso	< 12	13-18	> 19
Franco	< 15	16-25	> 26
Arcilloso	< 20	21-30	> 31

Fuente: GONZÁLEZ (2014)

### 2.3.8. Potasio

La cantidad promedio de potasio en el suelo es de alrededor 19 g/kg. Las principales fuentes de potasio son la meteorización de minerales

(relacionado con el tipo de material parental y la pedogénesis), el contenido de minerales arcillosos (fuente principal de potasio en el suelo), la mineralización de los residuos orgánicos y la incorporación por el uso de fertilizantes.

El potasio en el suelo puede hallarse como ión en la solución suelo como  $K^+$  adsorbido (intercambiable), en la forma de potasio fijado (no intercambiable), así como potasio estructural (no intercambiable). El potasio de la solución suelo más el K intercambiable es comúnmente denominado K “disponible” y se mide al evaluar la fertilidad del suelo (GONZALEZ, 2014).

Los análisis químicos muestran que el contenido de potasio total del suelo no es un índice de fertilidad para los cultivos puesto que los suelos contienen K en distintas formas. Una parte es extraíble por reactivos muy suaves tales como el agua o soluciones salinas diluidas y otra parte puede extraerse solamente con reactivos fuertes como por ejemplo el ácido nítrico.

Diferentes investigaciones coincidieron en que estas formas extremas difieren en la facilidad con la que las plantas pueden extraerlas (MOSQUERA, 2017).

Cuadro 3. Niveles de potasio (ppm) según la textura del suelo

	Bajo	Normal	Alto
Secano			
Arenoso	< 95	96-135	> 136
Franco	< 125	126-195	> 196
Arcilloso	< 155	156-255	> 256
Regadío			
Arenoso	< 135	136-215	> 216
Franco	< 155	156-295	> 296
Arcilloso	< 175	176-330	> 331

Fuente: González (2014)

#### **2.4. Contaminación del suelo por metales pesados**

La calidad de un suelo es su capacidad para desarrollar una serie de funciones, la que puede llegar a ser afectada de manera negativa cuando ocurre la contaminación del mismo. La contaminación de un suelo hace referencia a la presencia de un elemento o de un compuesto químico en una concentración tal en la que se producen efectos negativos, que se traducen en la pérdida de las aptitudes que solía poseer el suelo para realizar una determinada función o incluso puede llegar a hacer inutilizable al suelo, a no ser que se le dé algún tratamiento previo. Esto se asocia con la entrada de sustancias de origen antropogénico que son depositadas a través de diferentes vías.

El suelo puede llegar a ser un receptor primario o secundario, según sea su deposición directa o indirecta (como la precipitación atmosférica). Los efectos sobre las funciones que cumple un suelo y su transferencia hacia los seres vivos, el agua y el aire, dependen en gran medida del tipo de suelo en el que se depositan los contaminantes, ya que los distintos tipos de suelo difieren en su vulnerabilidad a ser degradados (MANZANARES, 2006).

Entre los contaminantes del suelo se hallan los metales pesados, los metaloides como el arsénico y el selenio, los cuales pueden presentar diferentes estados de oxidación en el agua, el aire y el suelo; y diferentes grados de reactividad, carga iónica y solubilidad del agua. Una forma opcional de nombrar a este grupo es “elementos tóxicos”, los que, de acuerdo con la lista de contaminantes prioritarios de la USEPA incluye arsénico, cromo, cobalto, níquel, cobre, zinc, plata, cadmio, mercurio, titanio, selenio y plomo (DE LA PEÑA, 2014).

Los metales pesados son uno de los más importantes contaminantes ambientales. Éstos se encuentran presentes en suelo, ya sea como componentes naturales o como el resultado de la actividad antropica (MANZANARES, 2006). La contaminación atmosférica es uno de los mayores factores de la contaminación por metales pesados. Los metales pesados se pueden acumular en la capa superficial del suelo por medio de la disponibilidad atmosférica, por sedimentación de los mismos (DE LA PEÑA, 2014).

La degradación de los suelos es causada por usos y prácticas de ordenación de la tierra insostenibles y por fenómenos climáticos extremos resultantes de distintos factores sociales, económicos y de gobernanza. Hoy, el 33% de la tierra está moderada o altamente degradada resultante de la erosión, la salinización, la compactación, la acidificación y la contaminación de los suelos por productos químicos. La tasa actual de degradación de los suelos amenaza la capacidad de las generaciones futuras de atender sus necesidades más básicas. Se estima que las tendencias demográficas y el crecimiento previsto de la población mundial (que superará los 9 000 millones en 2050) darán lugar a un aumento del 60% de la demanda de alimentos. Existen bajas posibilidades de ampliación de la superficie agrícola, excepto en algunas partes de África y América del Sur. Gran parte de la tierra restante no es adecuada para la agricultura y los costes ecológicos, sociales y económicos de transformarla en productiva serían muy elevados. Por tanto, el manejo sostenible de los suelos agrícolas del mundo y la producción sostenible son imprescindibles para invertir la tendencia de degradación de los suelos y garantizar la seguridad alimentaria actual y futura del mundo (FAO, 2015).

### **2.4.1. Minería**

En estados como Perú, donde la actividad económica minera es básica, esta produce un importante impacto ambiental debido a las múltiples fuentes de contaminación que presenta esta actividad. Algunas de éstas son los acopios de mineral estéril, botaderos, tranques de relaves. Estos residuos mineros al fragmentarse por efectos de la meteorización liberan iones metálicos al medio.

En Perú, gran parte de las sustancias químicas que contaminan provienen de las actividades mineras e industriales. Los suelos se contaminan tanto por los riles que se vierten sin un manejo adecuado desde las industrias, así como también por sedimentación de emisiones atmosféricas de material particulado que contiene metales pesados (ALLOWAY, 1995).

### **2.4.2. Agricultura**

Para el caso de la agricultura se tienen varias fuentes que poseen metales pesados. Los fertilizantes y pesticidas que frecuentemente son usados en este tipo de actividades contienen cantidades no despreciables de Cu, As, Co, Sr, Cr, Mo, Ti, Mn, V, Fe, Cd, Ni, Zn, Pb, Hg, Br y Sc EL-BAHI *et al.* (2004).

Además, otros compuestos usados como fertilizantes tales como el purines, estiércol, compost y lodos de aguas residuales poseen metales tales como el Cd, Cu, Pb y Zn y finalmente en la agricultura es común el uso de guano animal como fertilizantes. El guano de bovino, cerdo y pollo posee metales pesados en su composición, por ejemplo, Cd, Cu, Cr, Pb, Ni, Zn y Hg EURICH *et al.* (1996).

### **2.4.3. Otros**

Existen otras actividades que poseen potencial para contaminar los suelos. Industrias como la textil, de curtiembre, petroquímica y hasta productos farmacéuticos, poseen una muy extensa composición. Parte de su contenido de metales como Pb, Cr y Zn y compuestos orgánicos tóxicos son peligrosos si se adicionan en el suelo (ALCAINO, 2012).

## **2.5. Plomo**

### **2.5.1. Características fisicoquímicas**

El plomo (Pb) es un metal pesado de color blanco azulado, con tendencia al gris plateado, de alta densidad (11,35 g/cm<sup>3</sup>). En estado puro es blando y maleable, poco dúctil y mal conductor de la electricidad. Como muchos metales, en ambientes húmedos se recubre de una capa de óxido. Su número atómico es 207,2; su punto de fusión es 327,4 °C y el de ebullición es 1 740 °C (ALBERT, 1997).

El plomo es insoluble en agua, resistente a la acción del ácido sulfúrico. Se disuelve lentamente en soluciones de agua acidificada con ácidos débiles. Soluble en ácido nítrico y en soluciones del mismo ácido, dando lugar a sales solubles. Produce humos (vapores) metálicos a partir de 500 °C, estos humos son tóxicos y penetran a los alvéolos. El mineral más común es el sulfuro (la galena), los otros minerales de importancia comercial son el carbonato (cerusita) y el sulfato (anglesita) que son mucho más raros. También se encuentra plomo en varios minerales de uranio y de torio, ya que proviene

directamente de la desintegración radiactiva (decaimiento radiactivo) (GARCIA y MENDOZA, 1999).

### **2.5.2. Situación actual**

Aunque la toxicidad del plomo es bien conocida, dicho contaminante puede ser un mineral vestigio esencial. Con los años, el reconocimiento de la naturaleza grave de la intoxicación por plomo en niños ha hecho que la OMS ajusten la ingestión total tolerable recomendable de plomo provenientes de todas las fuentes hasta el límite de 6 a 18  $\mu$  g/día como límite tolerable para la ingestión de plomo en un niño de 10 años, por otro lado, se debe tomar en cuenta ya que el Perú es el primer productor de plomo en América Latina y cuarto a nivel mundial (GASTAÑAGA, 1998).

### **2.5.3. Fuentes de contaminación**

#### **2.5.3.1. Fuentes naturales**

El plomo se halla en forma natural en la corteza terrestre en un promedio de 16 mg/kg. Fue uno de los primeros metales extraídos por el hombre, a partir de la galena (PbS), la cerusita (PbCO<sub>3</sub>) y la anglesita (PbSO<sub>4</sub>). El metal se produce principalmente por fundición del mineral y los principales yacimientos de plomo se encuentran en Canadá, Australia, Estados Unidos de América y la Ex Unión Soviética. En América Latina los más importantes productores son: México y Perú (GASTAÑAGA, 1998).

La tendencia al incremento en la producción y al consumo de plomo en América Latina ha elevado el riesgo de exposición y de daños en la salud de la población. El aire, el agua y los suelos son depósitos naturales de plomo y la presencia de plomo natural en éstos se debe a la erosión de los suelos y a la

actividad volcánica y son lavados en arroyos y a la larga se depositan con los sedimentos en los lagos, ríos y océanos.

Otra fuente considerable de plomo en la atmósfera, es el plomo depositado de las expulsiones de la lava meteórica, todas estas cantidades de plomo se consideran como fuentes naturales de este metal ya que no interviene intencionalmente la mano directa o indirecta del hombre (NOLASCO, 2001).

### 2.5.3.2. Fuentes antropogénicas

Después de las actividades de minería, la principal fuente antropogénica de plomo es la industrial. El comportamiento del plomo en el suelo se basa en aumentar la materia orgánica y coloides inorgánicos, aumenta la interacción con el suelo, al reducirse el pH disminuye la interacción con el suelo y al disminuir la interacción con el suelo se eleva la solubilidad del plomo y puede contaminar acuíferos (NOLASCO, 2001).

Cuadro 4. Estimación de la emisión antropogénica de plomo en el suelo

Fuente	Emisión Máxima (TN/año)
Residuos orgánicos	1600
Fertilizantes	2300
Lodos residuales	9700
Residuos sólidos	11000
Residuos animales	20000
Residuos agrícolas	27000
Cenizas de carbón	242000
Precipitación atmosférica	263000
Residuos comerciales	390000
Residuos mineros	390000
Residuos metalúrgicos	390000

Fuente: NOLASCO (2001)

## 2.6. Técnicas de restauración de suelos contaminados

Estos últimos años se ha puesto mayor atención en el desarrollo de técnicas que permitan la recuperación y reutilización de los suelos contaminados.

Existen muchos criterios en base a los cuales se pueden clasificar las tecnologías de restauración, entre los principales se encuentran los siguientes.

### **2.6.1. Considerando las estrategias de restauración**

Son estrategias básicas que pueden ser empleadas en conjunto o por separado (NOLASCO, 2001).

#### **2.6.1.1. Destrucción o modificación de los contaminantes**

Se realiza cambiando la estructura química del contaminante. Usualmente es una técnica cara que se usa cuando el contaminante es altamente nocivo y es necesario eliminarlo del suelo (NOLASCO, 2001).

#### **2.6.1.2. Extracción o separación**

Se efectúa mediante el aprovechamiento de las propiedades físicas o químicas del contaminante, como solubilidad, volatilización o carga eléctrica, entre otros (NOLASCO, 2001).

#### **2.6.1.3. Aislamiento o inmovilización del contaminante**

Los contaminantes se estabilizan con el uso de métodos físicos o químicos. Se adicionan materiales sólidos con baja permeabilidad como silicatos, cemento, polímeros orgánicos y termoplásticos (NOLASCO, 2001).

### **2.6.2. Lugar en el que se realiza el proceso de remediación**

Usualmente, existen dos tipos de tratamiento en esta clasificación:

#### **2.6.2.1. In situ**

Se realiza en el mismo lugar donde se halla la contaminación, sin necesidad de excavar el suelo. Su primordial ventaja es la reducción de costos en el procedimiento; no obstante, requiere mayor tiempo de tratamiento, puede

ser inseguro en cuanto a heterogeneidad en las características del suelo y presenta dificultad para verificar la eficacia del proceso (NOLASCO, 2001).

#### **2.6.2.2. Ex situ**

La realización de este tipo de tratamiento requiere de excavación, dragado o cualquier otro proceso para remover el suelo contaminado antes del tratamiento. Existen dos posibilidades una vez que el suelo ha sido extraído: que se adicione el tratamiento en el mismo sitio utilizando unidades móviles que son trasladadas al lugar (on site), o bien transportar el suelo a las instalaciones donde se aplicara el proceso de recuperación. Este tratamiento requiere un mínimo tiempo de ejecución y es más seguro en cuanto a uniformidad ya que es posible homogenizar y muestrear periódicamente; sin embargo, es necesario excavar el suelo, lo cual eleva los costos por el equipo utilizado, además de que debe considerarse la manipulación del material y la posible exposición al contaminante (NOLASCO, 2001).

#### **2.6.3. Tipo de tratamiento**

Se rige en el principio de la tecnología de remediación y puede ser tratamiento biológico, físico químico o térmico.

##### **2.6.3.1. Tratamientos biológicos**

Emplean las actividades metabólicas de organismos como plantas, hongos y bacterias, para convertir o remover los contaminantes. También se le conoce como bio-restauración y su realización consiste en el aumento en la disponibilidad de O<sub>2</sub> y adicionar nutrientes en el suelo. Para ello, se puede usar pozos de inserción de peróxido o nitratos. También se puede usar paja o astillas como agentes de carga para mejorar el suelo. Este tipo de tecnologías

contribuyen con el ambiente, no presentan costos altos, los contaminantes generalmente son destruidos y se requiere de un mínimo o ningún tratamiento posterior, por otro lado, presenta la desventaja de no poder usarse si el tipo de suelo no favorece el crecimiento de los organismo, además de requerir mayores tiempos de tratamiento y es necesario verificar la toxicidad de los productos del proceso, como los siguientes: Bioventeo, Bioestimulación, Bioaumentación, Biolabranza, Composteo, Fitorremediación, Biorreactores (NOLASCO, 2001).

#### **2.6.3.2. Tratamiento térmico**

Utilizan calor para volatilizar, quemar, descomponer o fundir los contaminantes que se encuentran en el suelo. Los valores, cenizas y residuos líquidos generados requieren de tratamiento especial, presentan la ventaja de ser los procedimientos más rápidos con una elevada eficacia para eliminar el contaminante, aunque también es el grupo de tratamiento más costoso como: pirolisis, desorción térmica, incineración, vitrificación (NOLASCO, 2001).

#### **2.6.3.3. Tratamientos fisicoquímicos**

Usa las propiedades físicas y/o químicas (porosidad, densidad, tamaño de las partículas, viscosidad, etc.) de los contaminantes o del medio contaminado para degradar, separar o contener la contaminación, Algunas de las ventajas de este tratamiento son: que pueden realizarse en periodos pequeños, el equipo es accesible y se requiere de poca energía. Sin embargo, los residuos generados por técnicas de separación deben ser tratados, lo cual eleva los costos y la necesidad de permisos; además los fluidos de extracción pueden elevar la movilidad de los contaminantes por lo que se requieren sistemas de recuperación. Como los siguientes: oxidación química, extracción

de vapores, solidificación, estabilización electrocinética, inundación del suelo, lavado de suelo (NOLASCO, 2001).

## **2.7. Tratamiento de lavado de suelos**

El proceso de lavado es una técnica de tratamiento usualmente usada ex situ, aunque también puede realizarse in situ y consiste en realizar un lavado del material contaminado empleando agua que por lo general contiene un agente extractante que agiliza la transferencia de dichos contaminantes hacia la solución por medio de su desorción y/o solubilización. Los distintos contaminantes del suelo tienden a adherirse física o químicamente a las partículas de tamaño pequeño como las arcillas y los limos, las cuales a su vez suelen encontrarse unidas a partículas de granulometrías grandes como arenas y gravas (ORTIZ,2007).

Durante el proceso de lavado consiste en tres etapas: mezclado, lavado y enjuagado; se realiza una separación mecánica de la tierra fina contaminada y de la tierra gruesa, con lo que los contaminantes se concentran en volúmenes menores.

Una vez que los contaminantes se hallan concentrados, sobre ellos se aplica el únicamente un lavado con agentes quelantes o se puede realizar una combinación de técnicas (incineración, biorremediación) para asegurar la total descontaminación del suelo y así asegurar que su disposición como residuo al ambiente es segura.

La solución generada que se encuentra cargada de los contaminantes puede luego someterse a tratamientos químicos o bioquímicos para asegurar su detoxificación.

Los agentes quelantes, forman compuestos solubles con iones metálicos. Uno de los más usados es el ácido etilendiamino tetracético (EDTA). Otros de los ácidos usados como agentes quelantes son los ácidos cítrico, málico y acético.

Los ácidos y bases movilizan, neutralizan o transforman el contaminante. Las soluciones acidas se aplican usualmente para elevar la solubilidad de muchos metales, mientras que las alcalinas se usan para remover fenoles y metales ligados a la fracción orgánica del suelo.

Los Surfactantes son sustancia que posee una actividad superficial o interfacial. Estas moléculas tienen propiedades relativamente equilibradas, ya que son hidrofílicas e hidrofóbicas. Existen surfactantes aniónicos, catiónicos, entre otros.

La técnica de lavado empleando soluciones de agentes extractantes es efectiva para el tratamiento de material contaminado con compuestos orgánicos como fenoles y alcoholes de poco peso molecular, sales insolubles (especialmente sulfatos y cloruros) y metales pesados (MOSQUERA, 2014).

### **2.7.1. Factores que influyen en la implementación de la técnica de lavado de suelos**

Según MOSQUERA (2014), la aplicación exitosa del lavado de suelos usando agentes extractantes para la remoción de contaminantes de un sustrato es dependiente de los siguientes factores.

#### **2.7.1.1. Naturaleza del sustrato**

Los parámetros del suelo tales como pH, composición mineralógica, distribución granulométrica, contenido de materia orgánica y/o capacidad de intercambio iónico afectan directamente a la retención y movilidad de los contaminantes hacia la solución de lavado (MOSQUERA, 2014).

#### **2.7.1.2. Naturaleza de los contaminantes**

Las propiedades de los diferentes tipos de contaminantes que existen en el sustrato (metales pesados, residuos de hidrocarburos, residuos agrícolas, etc.) determinan la efectividad del proceso de lavado. Entre estas características se encuentra el contenido de los contaminantes en la matriz y su distribución o formas fisicoquímicas (MOSQUERA, 2014).

#### **2.7.1.3. Solubilidad del agente quelante**

La solubilidad de los distintos agentes quelantes empleados en el lavado de suelos es dependiente del pH de la solución, incrementándose en ambientes básicos y disminuyendo en entornos ácidos. Resulta mejor trabajar en ambientes poco ácidos pues esto permite elevar la concentración del agente quelante en la solución lo cual favorece a la formación de complejos con los iones metálicos (MOSQUERA, 2014).

#### **2.7.1.4. pH de la solución**

Este es uno de los parámetros de mayor influencia en el lavado de suelos. El pH de la solución determina la interacción entre los iones  $H^+$  y  $OH^-$  con el centro activo del ion metálico lo cual determina la estabilidad del complejo. La fuerza que presenta el complejo quelatado en función del pH de la solución se conoce como constante de estabilidad condicional y esta es tiene una gran

importancia al momento de escoger el pH de experimentación en función del metal que se quiera remover del suelo (MOSQUERA, 2014).

### 2.7.1.5. Tipo de lavado

Dentro de este parámetro se pueden englobar las características inherentes al procedimiento que son aquellas que se prueban a nivel de laboratorio y que corresponden al tiempo de tratamiento, pH de la solución y concentración del agente extractante. La manipulación de las proporciones de estos factores determinará la capacidad de remoción de metales del suelo y por ende la efectividad del procedimiento (MOSQUERA, 2014).

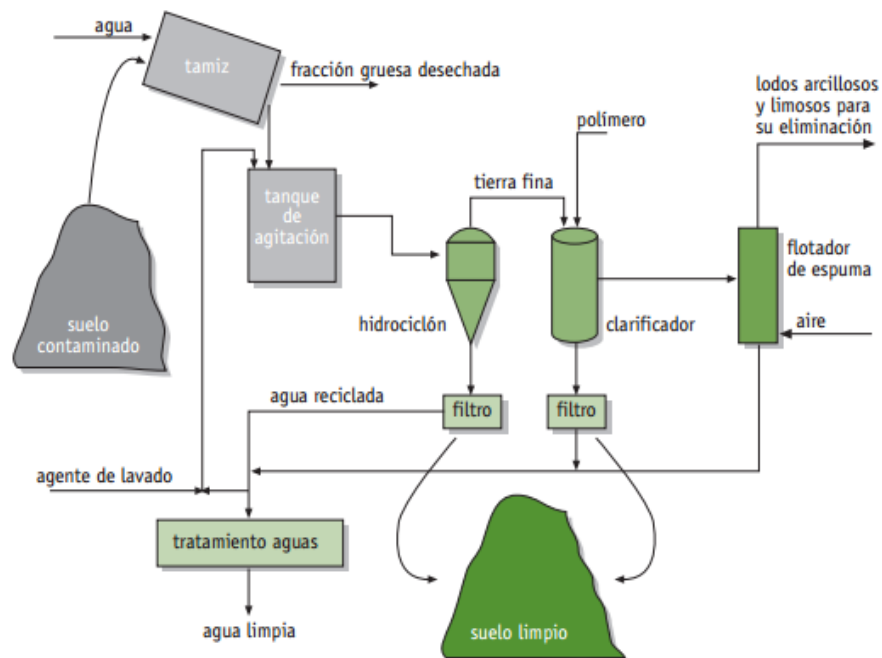
Cuadro 5. Principales ventajas y desventajas de la aplicación del lavado de suelo empleando agentes extractantes

Ventajas	Desventajas
Bajos costos	Se requiere excavar y manipular el suelo
Efectivo para tratar suelos arenosos y/o muy permeables.	Altas cantidades de materia orgánica dificultan el proceso de separación
Disminuye la cantidad de material contaminado	No es eficiente para tratar mezclas complejas.
No requiere de infraestructura sofisticada	Los contaminantes deben de ser solubles
Son sistemas cerrados, en donde se pueden controlar las condiciones del sistema y las emisiones del ambiente	Requiere de grandes cantidades de agua
	Se necesitan procesos secundarios para tratar aguas residuales y partículas finas del suelo

Fuente: MOSQUERA (2014)

La eficacia de remoción de los metales en esta tecnología es dependiente de varios parámetros, tales como las características físicas y química del suelo, es decir, su textura, su capacidad de intercambio catiónico, su

capacidad buffer, y su contenido de materia orgánica. Otros parámetros relevantes son las características de la contaminación del suelo, que se refiere al tipo, concentración, fraccionamiento y especiación de los metales presentes. Por último, también es importante tomar en cuenta las características del agente extractante y las condiciones del proceso (pH de la solución, número de pasos, tiempo de residencia, razón sólido/líquido, modo de agregar el extractante) (ALCAINO, 2012).



Fuente: ALCAINO (2012)

Figura 3. Proceso de lavado de suelo

## 2.8. Quelación

Según PEREZ (1953) un quelante, secuestrante, o antagonista de metales pesados, es una sustancia que forma complejos con iones de metales pesados. A estos complejos se los conoce como quelatos, palabra que deriva de la palabra griega chele que significa "garra".

La quelación es la habilidad de un componente químico para generar una estructura en anillo con un ion metálico resultando en un compuesto con características químicas distintas a las del metal original. (el quelante impide que el metal siga sus reacciones químicas normales). Puede terminar en un compuesto que sea una de dos, o soluble o insoluble en agua. La generación de quelatos estables solubles en agua se llama secuestación. Los quelantes poseen distintas propiedades; el quelante ideal debería tener todas las siguientes:

- Elevada solubilidad en agua.
- Resistencia a la biotransformación.
- Capacidad para llegar a sitios donde se pudiera acumular el metal.
- Capacidad para generar complejos no tóxicos a partir de metales tóxicos.
- Afinidad alta por los metales, en comparación a ligandos endógenos.

Ejemplos de quelantes más utilizados son: el ácido málico, el ácido cítrico, el ácido tartárico, el ácido láctico, el ácido glucónicoel ácido acético, el ácido nitrilo-Tri-Acético (NTA), el ácido etilen- diamino-Tetra-Acético (EDTA) y el ácido tri-poli-fosfórico (TPPA). Por otro lado, se menciona también la fuerza de quelación de algunos compuestos, son los siguientes:

EDTA	Muy fuerte
DTPA	Muy fuerte
NTA	Fuerte
TPPA	Medio
Glucónico	Medio
Cítrico	Medio
Tartárico	Medio
Málico	Débil
Láctico	Débil
Acético	Débil

### **2.8.1. Agentes quelantes empleados para el proceso de lavado de suelo**

El lavado de suelos haciendo uso de agentes quelantes es en sí un procedimiento de transferencia de masa, pues se genera la movilización de contaminantes del suelo hacia la solución.

Los compuestos quelantes son de naturaleza anfifílica; es decir, que tienen una parte hidrófila (exterior) y una parte hidrófoba (interior) y se encuentran en la solución de lavado en forma de monómeros que interactúan con los contaminantes de poca polaridad para crear complejos. Esa interacción eleva la solubilidad aparente del contaminante y ocasiona su desorción de la matriz sólida (MOSQUERA, 2014).

Los agentes quelantes pueden poseer uno o más sitios activos para la formación de ligandos; aquellos compuestos que tienen más de un sitio activo, como el EDTA, por ejemplo, pueden penetrar de mejor manera en el suelo y formar complejos metálicos más estables. La estabilidad de dichos compuestos puede verse afectada tanto por el tamaño del anillo del ligando como por la naturaleza del metal y del agente.

El uso de agentes quelantes para el tratamiento de suelos contaminados ha tomado gran importancia en estos últimos años, pues estos compuestos reducen considerablemente la toxicidad de los sustratos y se degradan con facilidad en el medio ambiente en forma de compuestos no tóxicos.

La eficiencia de la técnica de lavado está estrechamente relacionada con la capacidad que tenga la solución para disolver a los metales que se encuentren presentes en el suelo; es por ello que se deben emplear quelantes

que tengan la capacidad de diluir de manera óptima a los diferentes contaminantes CHU *et al.* (2003).

Según INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (2006) Los agentes más usados en el lavado de suelos son de dos tipos: a) agentes quelantes como el EDTA, el ácido cítrico o el ácido málico que forman complejos solubles con los iones metálicos disueltos y b) ácidos y bases que neutralizan y/o convierten a los contaminantes; los ácidos incrementan la solubilidad de los contaminantes mientras que las bases los remueven de la materia orgánica del suelo.

Se ha logrado demostrar que los distintos tipos de sustratos responden de manera distinta a la solubilización, intercambio o extracción de metales pesados y otros contaminantes generados por la solución de lavado.

También se ha conseguido determinar que los agentes quelantes, ácidos o bases empleados en el lavado de suelos suelen ser específicos para ciertos iones metálicos; como por ejemplo, el EDTA ha logra porcentajes de la remoción de Cu, Zn y Pb de alrededor del 95% mientras que el ácido fosfórico en solución logra remover aproximadamente el 99,9% de As.

No obstante, cuando en la muestra de suelo se observa una heterogeneidad tanto de tipos de contaminantes como de su proporción, la efectividad de la técnica de lavado de suelos puede verse reducida; es por ello que en estos casos se debe realizar un lavado secuencial del sustrato empleando diferentes agentes quelantes.

## **2.9. Normativa nacional para la contaminación del suelo**

El Decreto Supremo 002-2013-MINAM por el que se Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, fue publicado el 25 de marzo del 2013. Asimismo, el 2014 se publicaron dos Guías Técnicas (Guía para Muestreo de Suelos y Guía para Elaboración de Planes de Descontaminación) y finalmente el 2015 se publicó la Guía para la Elaboración de Estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente, completando el marco legal actual.

El ECA se conoce como la medida que define el nivel de concentración o del grado de sustancias, elementos o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire agua o suelo en su condición de cuerpo receptor, que no presentan riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Se puede observar a continuación que el ECA para compuestos inorgánicos (Pb) para suelos agrícolas es de 70 ppm, el cual se usara para la presente investigación.

Cuadro 6. Estándares de Calidad Ambiental Orgánicos para el suelo

Parámetros	Suelo Agrícola	Suelo Residencial/ Parques	Suelo Comercial/ Industrial /Extractivos	Método de ensayo
Benceno (mg/Kg MS)	0,03	0,03	0,03	EPA 8260-B EPA 8021-B
Tolueno (mg/Kg MS)	0,37	0,37	0,07	EPA 8260-B EPA 8021-B
Etilbenceno (mg/Kg MS)	0,082	0,082	0,082	EPA 8260-B EPA 8021-B
Xileno (mg/Kg MS)	11	11	11	EPA 8260-B EPA 8021-B
Naftaleno (mg/Kg MS)	0,1	0,6	22	EPA 8260-B
Fracción de hidrocarburos F1 (C5-C10) (mg/Kg MS)	200	200	500	EPA 8015-B
Fracción de hidrocarburos F2 (C10-C28) (mg/Kg MS)	1200	1200	5000	EPA 8015-M
Fracción de hidrocarburos F3 (C28-C40) (mg/Kg MS)	3000	3000	6000	EPA 8015-D
Benzo(a) pireno (mg/Kg MS)	0,1	0,7	0,7	EPA 8260-B
Bifenilos policlorados PCB (mg/Kg MS)	0,5	1,3	33	EPA 8260-B
Aldrin (mg/Kg MS)	2	4	10	EPA 8260-B
Endrin (mg/Kg MS)	0,01	0,01	0,01	EPA 8260-B
DDT (mg/Kg MS)	0,7	0,7	12	EPA 8260-B
Heptacloro (mg/Kg MS)	0,01	0,01	0,01	EPA 8260-B

Cuadro 7. Estándares de calidad ambiental Inorgánicos para el suelo

Inorgánicos				
Cianuro Libre (mg/Kg MS)	0,9	0,9	8	EPA 9013-A/ APHA- AWWA- WEF 4,500 CN F
Arsénico total (mg/Mg MS) (2)	50	50	140	EPA 3050-B EPA 3051
Bario total (mg/Kg MS)	750	500	2000	EPA 3050-B EPA3051
Cadmio total (mg/Kg MS)	1,4	10	22	EPA 3050-B EPA3051
Cromo VI (mg/Kg MS)	0,4	0,4	1,4	DIN 19734
Mercurio total (mg/Kg MS)	6,6	6,6	24	EPA 7471-B
Plomo total (mg/Kg MS)	70	140	1200	EPA 3050-B EPA3051

EPA: Environmental Protection Agency (Agencia de Protección ambiental de los Estados Unidos)

DIN: German Institute for Standardization

MS: material seco a 105 °C, excepto para compuestos orgánicos y mercurio no debe de exceder de 40 °C, para cianuro libre se debe de realizar el secado de muestra fresca en una estufa a menos de 10 °C por 4 días. Luego de secada la muestra debe ser tamizada con malla de 2mm. Para el análisis se emplea la muestra tamizada < 2mm.

Nota 1. Plaguicidas regulados debido a su persistencia en el ambiente, en la actualidad está prohibido su uso, son Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP).

Nota 2. Concentración de metales totales.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Ubicación**

##### **3.1.1. Ubicación política**

La presente investigación se llevó a cabo en las locaciones del laboratorio de tratamiento de suelos de la especialidad de Ingeniería Ambiental (Facultad de Recursos Naturales Renovables) y en laboratorio de Análisis de Suelos (Facultad de Agronomía) pertenecientes a la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en la ciudad de Tingo María, distrito de Rupa Rupa, Provincia de Leoncio Prado, Región Huánuco.

##### **3.1.2. Ubicación geográfica**

El laboratorio de tratamiento de suelos se encuentra ubicado en las coordenadas geográficas 09° 18' 00" latitud sur y 76° 01' 00" longitud oeste, a una altura de 660 m.s.n.m., dentro del empalme Tingo María hoja 19-k de la carta nacional del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

#### **3.2. Materiales de campo**

Contenedores, pala, machete, rafia, mapa de ubicación, wincha de 50 m, sacos y GPS marca Garmin 62S.

#### **3.3. Materiales de laboratorio**

Bureta, papel aluminio, embudo Buchner, espátula, frascos de plástico de boca ancha de 250 mL, matraces Erlenmeyer 100 y 125 mL, matraces Kitazato, papel filtro sin cenizas, piceta, pilón, pipeta de 10 mL, probeta, crisol,

balón tipo kjeldahl, vasos de precipitado de 25, 50 y 100mL, gradilla, papel suave, guantes, rociadores para contaminante, mascarilla, guardapolvo.

#### **3.4. Equipos de laboratorio**

Espectrofotómetro de absorción atómica en llama Spectr AA 55B, multiparámetro marca Hanna, termómetro, estufa marca MEMMERT, Potenciómetro marca Hanna, Tamices de diferentes mayas, mufla, balanza analítica marca Hanna, agitador magnético, bomba de vacío, magnéticos marca Heildoph, Conductímetro marca Hanna, multitest.

#### **3.5. Reactivos (extractantes, contaminante, indicadores)**

Solución estándar de cloruro de potasio (KCl) 0,1N., solución estándar de cloruro de potasio (KCl) 0,01 N., agua destilada, solución amortiguadora de pH 7 y 4, ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), ácido clorhídrico (HCl), ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), solución saturada de Cloruro de sodio (NaCl), ácido etilendiaminotetraacético (EDTA)  $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_8$  masa molar 292,24 g/mol; ácido acético  $\text{CH}_3\text{COOH}$  masa molar 60.05 g/mol; ácido cítrico  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$  masa molar 192,124 g/mol; sulfato de plomo  $\text{PbSO}_4$  masa molar 303,26 g/mol; ácido bórico al 2%, hidróxido de sodio, mezcla de selenio (catalizador).

#### **3.6. Materiales para el equipo**

2 columnas de polietileno de dimensiones 15cm x 22cm, un tanque de polietileno de 8L, cinta aislante, dispersora de agua, llaves de paso, mallas, silicona líquida, teflón, termómetro, soportes de metal.

### **3.7. Software**

Microsoft Word v. 2013, PowerPoint v. 2013 y SPS versión de prueba.

### **3.8. Metodología**

La presente tesis se enmarcó dentro de una investigación experimental, basándose en un método químico ya que, para fines de validar el planteamiento del problema, hipótesis y los objetivos de la investigación se empleó el método experimental a escala de laboratorio. Teniendo en cuenta lo siguiente.

#### **3.8.1. Montaje del sistema de lavado de suelo escala de laboratorio**

Se implementó un sistema de lavado. En la parte superior posee un tanque de almacenamiento de la solución conectado a dos dispersores de agua, que tuvo la función de brindar las soluciones a todo el suelo dentro de las columnas.

Con respecto a las dos columnas, las cuales fueron de material tipo PET de 15 cm de diámetro y 22 cm de altura.

La primera columna fue donde reposó el suelo con la solución extractante durante dos horas para hacer pasado a la segunda columna que posee un sistema de filtraciones por donde escurrió las soluciones y el agua destilada que es el encargado de retirar todo tipo de resto de la solución empleada.



Figura 4. Montaje del sistema experimental

### 3.8.2. Recolección del suelo a tratar

La presente investigación se realizó ex situ, se procedió a recolectar 21 kg de suelos de la provincia de Tarma punto ubicado en las coordenadas geográficas  $11^{\circ} 25' 21''$  latitud sur y  $75^{\circ} 41' 00''$  longitud oeste, a una altura de 3213 m.s.n.m., departamento de Junín, con la finalidad de tratar un suelo típico de la sierra del país contaminado con plomo; el suelo fue previamente separado físicamente tamizado con tamiz N°4 de 5 mm; el que es recomendable para arena fina, muy fina y arcilla, ya que según la técnica de lavado de suelos, los contaminantes se quedarán adheridos a estos materiales y por lo tanto se

descarta la grava superior a esta medida y puede regresar a formar parte del suelo original y ya limpio.

### **3.8.3. Contaminación de las muestras de suelo**

Para lograr contaminar el suelo por encima del ECA (70 mg/l) se utilizó sulfato de plomo  $PbSO_4$  el cual es un sólido en forma de polvo que será disuelto en agua destilada (solución), con ello se procedió a contaminar el suelo.

El suelo previamente tamizado fue separado en bandejas de plástico separadas de 1 kilo cada una, y fue rociado con la dilución de sulfato de plomo con ayuda de un spray, removiendo cada dos horas y llevándolas a secar al aire libre, para su respectivo análisis en el laboratorio de suelo.

### **3.8.4. Preparación de la solución para el lavado de suelo con tres agentes extractantes**

Las soluciones extractante que fueron utilizadas para el lavado de suelo se realizó a concentraciones de 0,3M y 0,5M respectivamente de los siguientes reactivos (EDTA, Ácido acético, Ácido cítrico).

Para el volumen de las soluciones a disponer se tomó en cuenta la capacidad de campo del suelo que fue el 23 %, este dato nos sirvió para determinar la cantidad de agua máxima que el suelo puede retener, en la presente investigación se determinó 230 ml de agua para 1kg de suelo.

Ya que para el tratamiento de lavado de suelo se necesitaría el doble de la cantidad del volumen de agua para realizar esta técnica se determinó 460 ml, en tal sentido para poder trabajar con facilidad se propuso a 500 ml de solución a disponer.

- Solución testigo se utilizó 500ml de agua destilada para tratar 1 kilo de suelo contaminado con Pb.
- Solución de 0,3 M de EDTA, se pesó 44 g de EDTA aforados en 500 ml de agua destilada para tratar 1 kilo de suelo contaminado con Pb.
- Solución de 0,5M de EDTA, se pesó 73 g de EDTA aforados en 500 ml de agua destilada para tratar 1 kilo de suelo contaminado con Pb.
- Solución de 0,3M de ácido cítrico, se pesó 29 g de ácido cítrico aforados en 500 ml de agua destilada para tratar 1 kilo de suelo contaminado con Pb.
- Solución de 0,5M de ácido cítrico, se pesó 48 g de ácido cítrico en 500 ml de agua destilada para tratar 1 kilo de suelo contaminado con Pb.
- Solución de 0,3M de ácido acético, se pesó 9 g de ácido acético aforados en 500 ml de agua destilada para tratar 1 kilo de suelo contaminado con Pb.
- Solución de 0,5M de ácido acético, se pesó 15 g de ácido acético aforados en 500 ml de agua destilada para tratar 1 kilo de suelo contaminado con Pb.

Finalmente, todos los tratamientos fueron lavados con 500ml de agua destilada y se procedió a medir el pH de dichas soluciones.

#### **3.8.5. Operación del sistema**

Se realizó seis tratamientos y un tratamiento testigo cada uno con tres repeticiones con la finalidad de reducir el margen de error; estos consistirán en la adición de los agentes extractantes en la columna de lavado, cada agente

extractante de manera individual y en distintas concentraciones, para evaluar la acción en la remoción de plomo.

Posteriormente de la técnica de lavado con extractantes químicos que permitan solubilizar los contaminantes (tratamiento químico) se volvió a lavar el suelo con agua destilada para eliminar los contaminantes y agentes extractantes residuales, para finalizar el suelo fue secado a temperatura ambiente para su respectivo análisis.

La eficiencia de esta técnica es dependiente del nivel de adsorción del contaminante, controlado por una serie de características del suelo como el pH, la textura, la capacidad de intercambio catiónico, la mineralogía o el contenido en materia orgánica y otros factores como el tiempo que hace que el suelo está contaminado o la presencia de otros elementos tóxicos (ORTIZ,2007).

#### **3.8.6. Determinación del extractante y concentración óptima del tratamiento**

Se consideró como extractante y concentración óptima al tratamiento que remueva la mayor cantidad de plomo del suelo en estudio, seguidamente se verificó estadísticamente con un análisis de varianza y prueba de Tukey, con nivel de confianza del 5%.

#### **3.8.7. Determinación de la eficiencia de remoción del plomo**

Para la determinación de la eficiencia de remoción del Pb, se tendrá en cuenta la concentración del plomo del suelo antes y después de hacerlo pasar por el proceso de lavado y nos brindara la información de la concentración de remoción del contaminante. MARCOVECCHIO Y MORENO (1991), definen el porcentaje de remoción del metal mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Remocion} = \left( \frac{C_i - C_f}{C_i} \right) * 100 \dots (3)$$

Dónde:

Ci: Concentración inicial de Pb (ppm)

Cf: Concentración final del Pb (ppm)

### **3.8.8. Determinación de los efectos de los extractantes en los parámetros químicos del suelo**

Se registró el efecto de los principales parámetros químicos que intervienen en el estudio y su afectación por la presencia de Pb y el lavado con agentes extractantes, los datos fueron analizados en el laboratorio de suelos de la facultad de agronomía. Se determinó:

#### **3.8.8.1. Determinación de pH**

Antes de realizar la determinación de pH el instrumento debe calibrarse según las instrucciones del fabricante se seleccionaron las muestras a analizar en la mesa de trabajo y se pesó 2 g de la muestra, luego se dispuso la muestra sobre los frascos.

Con un dispensador de laboratorio se agregó 20 ml de agua destilada fresca (relación 1:1), se llevó al agitador de muestras y se agito las muestras por espacio de 10 minutos, luego se apagó el agitador y se dejó 5 minutos en reposo, a continuación, se tomó la lectura de pH, en el pH-metro. Por último, se registró los datos en la hoja de trabajo  $dS/m = \text{Lectura } (\mu S/cm) / 1000$ .

#### **3.8.8.2. Determinación de carbono orgánico y nitrógeno total**

Se realizó mediante el método de Walkley y Black (GOMEZ, 2013)

Para la solución de dicromato de Potasio 1N, se pesó 49,024 g de la sal previamente secada a 110 °C por 4 horas, (considerar las correcciones de

peso según el peso molecular y el porcentaje de pureza según el fabricante), disuelva en un litro de agua.

Para la solución de Sal de Mohr 0,5 N, se pesó 196 g de sulfato ferroso amoniacal y se disolvió en 500 ml de agua, se agito, posterior se añadió 20 ml de ácido sulfúrico, se disolvió completamente la sal y se completó a un litro. Importante mantener la solución en un frasco oscuro.

Para la solución de di-fenilamina sulfúrico, se pesó 0,5 g de di-fenilamina, llevarlo en un vaso beacker con 20 ml de agua destilada, finalmente añadir 50 ml de ácido sulfúrico.

Para la determinación de Carbono Orgánico y Nitrógeno Total, se pesó  $0,50 \pm 0,01$  g de muestra en un Erlenmeyer, con un dispensador posterior a ello añadir 10,00 ml de la solución de Dicromato de potasio 1N, agitar manualmente.

Luego con mucho cuidado se añadió 10 ml de ácido sulfúrico y se agito manualmente por un tiempo de un minuto, observando si se ha obtenido un color pardo, de no obtener el color pardo y la coloración obtenida fuese verdusca, se agregará 10 ml más de dicromato de potasio 1N.

Se dejó la mezcla en reposo a temperatura ambiente por 30 minutos, se enrazo a 100 ml con agua destilada y se dejó reposar por un espacio de 2 h. posterior a ello se tomó 10 ml de esta solución en un vaso de precipitado y se agregó de 2 a 3 gotas del indicador di-fenilamina sulfúrica, se tituló con la solución de sulfato ferroso 0,5 N. y se observó el cambio de color verde oscuro a verde brillante indicando el final de la titulación, luego se anotó el gasto de la solución de la sal de Mohr y paralelamente se realizó un blanco (sin muestra).

Para los cálculos, el contenido de materia orgánica considerando los siguientes valores: peso muestra (g), Vol. Dic.1N (ml), Vol. Total (ml), Alícuota

Para el gasto sal de Mohr 0,5N: en el blanco y en la muestra se determinó el volumen del dicromato que no reacciona con la M.O; (prueba en blanco y en muestra de suelo) se realizó con una regla de tres. Si el gasto de sal de Mohr es a Vol.Dic.1N, cuanto será para el volumen total.

$$\text{Gasto real} = \text{Gasto técnico} * \text{Factor de corrección} \dots (4)$$

Se determinó el volumen del dicromato que reacciona en la oxidación del carbono orgánico de la materia orgánica

$$\text{Vol.Dic.Reac.Oxi} = \text{Vol.Dic.Usado} - \text{Gasto técnico} \dots (5)$$

Conversión del volumen de gasto a porcentaje de carbono

$$\text{Meq C} = \text{Vol.Dic.Reac.Oxi} * \text{Normalidad del Dicromato} \dots (6)$$

Cabe indicar que el porcentaje de carbono orgánico, se debe de considerar que en el método de walkley – Black se oxida el 75% del carbono orgánico y que por lo tanto el peso equivalente se toma como 4. Quedando así el porcentaje de materia orgánica como sigue:

$$\%M.O = \%C.O * 1,724 \dots (7)$$

El factor de Van Vammelen considera que el 58% de M.O es carbono; así tenemos  $100/58 = 1,724$

Se determinó del porcentaje de nitrógeno total, considerando que el 5% de la M.O es Nitrógeno total.

$$\%Nt = \%M.O * 0,05 \dots (8)$$

### 3.8.8.3. Determinación de la C.I.C

Para la preparación de la solución de Acetato de Amonio 1N (pH=7.0), se pesó 77,08 g de acetato de amonio y se disolvió en 500 ml de agua, posterior se añadió hasta 950 ml y allí se ajustó el pH con un potenciómetro con ayuda del ácido acético y/o hidróxido de amonio hasta pH= 7.0, luego se completó a volumen de 1000 ml.

Para la preparación de la solución de Cloruro de Sodio al 10%, se pesó 50,84 g de Cloruro de Sodio y se disolvió en 200 ml, finalmente se completó a 1000 ml.

Para la preparación de la solución de Hidróxido de Sodio 1N, se pesó 40,01 g de NaOH en un litro de agua destilada.

Para la preparación de la solución de Hidróxido de Sodio 0.1N, se pesó 4,01 g de NaOH en un litro de agua destilada.

Para la preparación de la solución de Hidróxido de Sodio 0.01N, se pesó 0,401 g de NaOH en un litro de agua destilada.

Para la preparación de la solución de Fenolftaleína 0,1%, se pesó 0,1 g de fenolftaleína y se disolvió en 100 ml de alcohol etílico, posterior se añadió gotas de NaOH 0,01 N hasta que se observó una muy débil tinción del color grosella.

Finalmente, para la determinación de C.I.C para suelos y sedimentos con pH entre 5,6 y 7, se pesó 5 g de muestra y se transfirió al cartucho de papel filtro colocado en el embudo, seguido se añadió una pequeña porción de agua con la piceta cubriendo la muestra hasta el ras del cono del papel filtro (esto eliminara iones solubles), se dejó filtrar el agua y se descartó. Se añadió 100 ml

de solución de acetato de amonio en varias etapas y se recogió la solución filtrada en una fiola de 100 ml, en la muestra quedo retenida parte de la solución, pero la fiola deberá enrasarse con solución de acetato de amonio. Esta solución de la fiola se utilizó para las determinaciones de Ca, Mg, Na y K.

Posterior se lavó la muestra con alcohol etílico para remover el exceso de acetato de amonio, el lavado termina cuando la prueba con el reactivo de Nessler es negativa (amarillo pálido), la solución lavada se descarta, se añadió 50 ml de solución de cloruro de sodio en 5 etapas de 10 ml cada una y se recepcionó el filtrado en un Erlenmeyer. Al Erlenmeyer se añadió 10 ml de formaldehido, después de agitarlo agregar 2-4 gotas de indicador de fenolftaleína y titular con la solución de hidróxido de sodio hasta observar un color leve rojo grosella.

$$\text{C.I.C (meq/100g)} = \text{Vol} * \text{N} * 100 \text{ g/Masa de la muestra.... (9)}$$

Dónde:

Vol.= volumen de solución gastada en la titulación

N= normalidad estandarizada del hidróxido de sodio

#### **3.8.8.4. Determinación de Bases Cambiables (Ca y Mg)**

Para la preparación de la solución de acetato de Amonio 1N (pH=7.0), se pesó 77,08 g de acetato de amonio y se disolvió en 500 ml de agua, se aforo hasta 950 ml y allí se ajustó el pH en un potenciómetro con ácido acético y/o hidróxido de amonio hasta pH= 7, luego se completó a volumen de 1000 ml. Para la preparación de la solución de Oxido de Lantano 0,5 N, en 200 ml de agua destilada, se adiciono 50 ml de HCl (agua acidulada), posterior a ello se agregó 6 g de óxido de lantano y se enrazo a 1lt con agua destilada.

Para la determinación de Ca, Mg, Na y K, en la fase de extracción, se pesó 5 g de suelo, se transfirió el suelo al cartucho de papel filtro colocado en el embudo, se agregó 100 ml de agua destilada cubriendo la muestra en el papel filtro (esto eliminara iones solubles), por último, se dejó que filtre y se descartó el filtrado obtenido.

Se adiciono 100 ml de acetato de amonio 1N pH 7 cubriendo la muestra en el papel filtro, por último se recogió la solución filtrada en un matraz de 125 ml.

En la fase de dilución, para Ca y Mg se realizó diluciones 1:100 con Oxido de lantano 0,5 N; luego se procedió a leer en el espectrofotómetro de absorción atómica. Para Na y K se realizó diluciones 1:10 con agua destilada, luego se procedió a leer en el EAA.

#### **3.8.8.5. Determinación de fosforo disponible**

Para la preparación de la solución de Bicarbonato de sodio 0,5 M pH 8,5, se pesó 42,05 g bicarbonato sodio, seguido se completó hasta 1L con agua destilada, posterior se ajustó con NaOH en solución hasta obtener pH 8,5. Para la preparación de la solución de Molibdato de amonio, se pesó y se disolvió 1g de molibdato de amonio  $(\text{NH}_4)_6\text{MO}_7\text{O}_{24}$  en agua destilada seguido se adiciono 0,024g de tartrato de anti-amonio y potasio  $(\text{KSbOC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O})$ , por último se añadió 16 ml ácido sulfúrico QP y se completó a 1lt con agua destilada. Para la preparación de la solución del reductor para fosforo, se pesó 1g de ácido ascórbico para 1 L de molibdato de amonio. Para la preparación de los estándares de fosforo, se pesó 4,3934 g de fosfato di-acido de potasio previamente secado a 105 °C por 2 horas, se disolvió en agua destilada y se

completó hasta 1000 ml (hacer las correcciones de peso según el peso molecular y el porcentaje de pureza según el fabricante). Esta solución tiene una concentración de 1000 ppm de P. De allí preparar soluciones de menor concentración. Para la determinación de fósforo en la fase de extracción, se pesó 2 g de suelo, posterior se agregó una cucharada de carbón activado, también se agregó 20 ml de bicarbonato de sodio 0,5 M pH 8,5 con el dispensador, se agitó por 30 minutos en el agitador de muestras y se filtró hasta obtener el extracto del suelo. En la fase de dosaje, se realizó la curva patrón: en 4 tubos de prueba se agregó a cada uno 3 ml de las soluciones estándar de 0, 1, 2, 3 ppm P y se adicionó 10 ml de la solución molibdato de amonio más reductor, a cada tubo (volumen final, 13 ml). Se preparó el extracto de lectura: en un tubo de prueba se añadió 3 ml del extracto de suelo y se agregó 10 ml de la solución de molibdato de amonio más reductor (volumen final 13 ml), se dejó reposar por 15 minutos y se leyó en el espectrofotómetro a 660 nm.

#### **3.8.8.6. Determinación de potasio disponible**

Para la preparación de la solución de acetato de amonio 1 N pH 7.0, se adicionó 40 ml de ácido acético glacial, seguido se agregó 80 ml de hidróxido de amonio y se completó en 800 ml de agua destilada controlando que llegue en pH: 7 agregando 2 – 3 gotas de ácido acético o poco a poco agregar hidróxido de amonio cuando llegue al pH indicado se deberá completar a 1 litro. Para la determinación de Potasio, se pesó 5 g de suelo en un vaso de plástico, se agregó 25 ml de acetato de amonio 1N pH 7.0, se agitó por espacio de 15 minutos, se filtró hasta obtener el extracto y posterior se realizaron diluciones de 1/100, por último, se tomó la lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica.

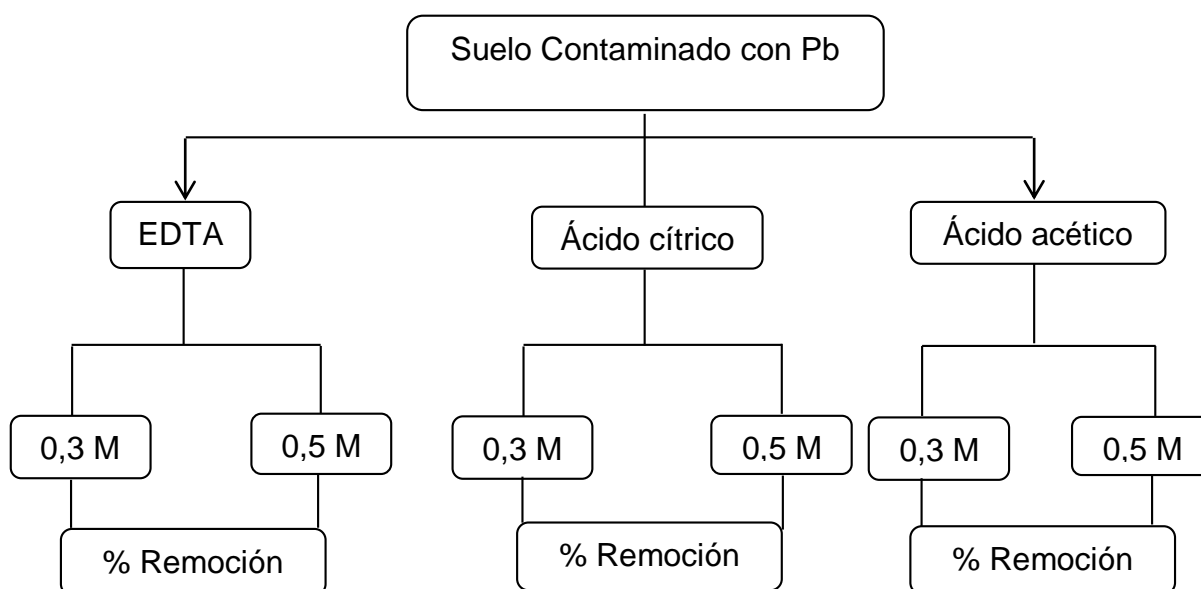
### 3.8.8.7. Determinación de plomo disponible

Para la preparación de las soluciones de EDTA 0,05 M pH 7, se pesó 18,8 g de EDTA (Titriplex III) ISA, se disolvió en agua destilada y se completó a 1 L. Para la determinación Plomo en la fase de Extracción, se pesó 5 g de suelo en un vaso de plástico, seguido se agregó 20 ml de solución extractante EDTA 0,05 M pH 7. Se agito por 20 minutos, se filtró hasta obtener el extracto, por último se tomó lectura en el espectrofotómetro de absorción atómica.

### 3.9. Diseño de la investigación

Para esta investigación se aplicó un diseño experimental, diseño completamente al azar (DCA) con arreglo factorial de 3x2, cada agente extractante removerá de manera individual y en dos concentraciones distintas, para la obtención de la información se realizó tres repeticiones por tratamiento.

#### 3.9.1. Especificación de tratamientos



Leyenda: 0,3 M; 0,5 M: concentración del agente extractante

Figura 5. Flujograma de la investigación

### 3.9.2. Tipo de investigación

Experimental.

### 3.9.3. Unidad experimental

Dos columnas de tereftalato de polietileno (PET) de dimensiones 15 cm de diámetro x 22cm de altura con contenido de muestra de suelo de 1 kg.

### 3.9.4. Variables en estudio

#### a. Variable independiente

Concentración de los agentes extractantes

#### b. Variable dependiente

Concentración de plomo en el suelo.

### 3.9.5. Tratamientos en estudio

Cuadro 8. Tratamientos en estudio

Extractante	Concentración	
	0,5	0,3
Agua destilada	T0	T0
Ácido acético	T1	T2
Ácido cítrico	T3	T4
EDTA	T5	T6

### 3.9.6. Diseño estadístico

BADII *et al.* (2007), nos dice que un experimento factorial permite la separación y la evaluación de los efectos de cada uno de 2 o más factores que afectan solo a una unidad experimental, además permite la detección de los efectos de interacción entre 2 o más factores. En la presente tesis se dispuso de un diseño factorial en donde se tendrá las siguientes consideraciones:

Ho: No existe diferencia significativa entre las combinaciones del tipo de extractante y las concentraciones de los mismos.

Ha: Existe diferencia significativa en alguna de las combinaciones en tipo de extractante y las concentraciones de los mismos.

En la presente tesis se tuvo 2 variables, como se muestra en el cuadro número 9 como son tipo de extractante y concentración del extractante.

Cuadro 9. Número de Factores del diseño factorial

Variable 1	Variable 2	
	T1	T2
V1	T1V1	T2V1
V2	T1V2	T2V2
V3	T1V3	T2V3

V1: Ácido acético

V2: Ácido cítrico

V3: EDTA

T1: 0,5M

T2: 0,3M

La combinación de las variables se representó en 6 tratamientos expresados

como T<sub>1</sub>: T1V1, T<sub>2</sub>: T2V1, T<sub>3</sub>: T1V2, T<sub>4</sub>: T2V2, T<sub>5</sub>: T1V3, T<sub>6</sub>:T2V3

Se arregló factorial como se muestra en el cuadro 10.

Cuadro 10. Representación de la distribución del arreglo factorial

Causas	Grados de libertad (G.L.)		
Factor A	a-1	3-1	2
Factor B	b-1	2-1	1
Interacción AxB	(a-1)(b-1)	(3-1)(2-1)	2
Error	ab(n-1)	3*2(6-1)	30
Total	abn-1	(3*2*6)-1	35

a: Número de niveles en la variable 1, b: Número de niveles en la variable 2

n: Número de repeticiones en cada nivel

### 3.9.7. Análisis de varianza

BADII *et al.* (2007), nos dice que para el análisis de varianza de un diseño factorial tendría la forma como se aprecia en el cuadro número 11.

Cuadro 11. Análisis de Varianza del diseño factorial

Causas	G.L.	CM	F
Variables			
Variable A	a-1	$\frac{SC_{facA}}{a-1}$	$\frac{CM_{FacA}}{CM_{Error}}$
Variable B	b-1	$\frac{SC_{facB}}{b-1}$	$\frac{CM_{FacB}}{CM_{Error}}$
Interacción AxB	(a-1)(b-1)	$\frac{SC_{int}}{G.L.}$	$\frac{CM_{Int}}{CM_{Error}}$
Error I	ab(n-1)	$\frac{SC_{error*}}{G.L.}$	$S_I^2$
Total	abn-1	---	---

SC<sub>trat</sub>: Suma de cuadrados del tratamiento SC<sub>facA</sub>: Suma de cuadrados del factor A SC<sub>facB</sub>: Suma de cuadrados del Factor B SC<sub>error\*</sub>: Suma de cuadrados del error I SC<sub>error\*\*</sub>: Suma de cuadrados del error II CM<sub>trat</sub>: Cuadrado medio del tratamiento CM<sub>error</sub>: Cuadrado medio del error CM<sub>facA</sub>: Cuadrado medio del factor A CM<sub>facB</sub>: Cuadrado medio del factor B CM<sub>int</sub>: Cuadrado medio de la interacción

### 3.9.7.1. Comparación de tratamientos

Según MENDIBURU (2007), debido a que se nos permitió comparar las medias de los tratamientos después de haber rechazado la Hipótesis nula de igualdad de medias en el ANOVA se procederá a realizar la comparación de los tratamientos utilizados a través de la prueba de Tukey,

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Extractante y concentración óptima en la técnica de lavado de suelo escala de laboratorio

En la figura 6, se puede observar el gráfico de barras que muestran los tres tipos de extractantes indicando cada uno de ellos la diferencia entre las dos concentraciones propuestas en relación a la concentración final del plomo (ppm), en esta se observa que a concentración de 0,5M representa la menor concentración de plomo en el suelo, por lo que la concentración óptimo del tratamiento fue a 0,5M.

Por otro lado con el extractante EDTA la concentración de plomo disminuye a 27,54 ppm en comparación a la concentración inicial de 79,36 ppm, seguido del ácido cítrico 29,89 ppm y ácido acético 32,43 ppm. Por lo que el extractante óptimo fue el EDTA.

También se observó que los tres extractantes se encuentran por debajo de los estándares de calidad ambiental para el suelo y del plomo inicial.

La combinación óptima para el lavado de suelo resulto ser EDTA a concentración de 0,5M (T<sub>5</sub>), presento la menor concentración promedio de 24,18 ppm con respecto al plomo entre las demás combinaciones (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>6</sub>), y la combinación que presento la mayor concentración entre las demás combinaciones fue el T<sub>2</sub> con una concentración de plomo promedio de 34 ppm.

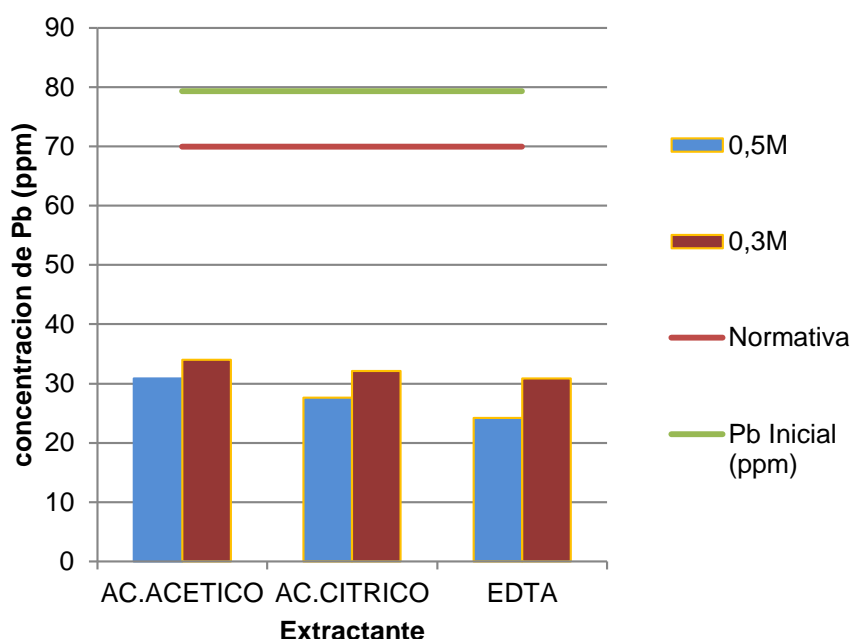


Figura 6. Extractante óptimo y concentración óptima

En el cuadro 12, se presenta el ANOVA que descompone la variabilidad de Pb en contribuciones debidas a varios factores, puesto que 2 valores-P son menores que 0,05; estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Pb con un 95% de nivel de confianza.

Cuadro 12. ANOVA con respecto al plomo.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Concentración	103.488	1	103.488	159.51	0.0000
B: Extractante	71.7216	2	35.8608	55.27	0.0000
AB: Interacciones	9.74521	2	4.87261	7.51	0.0077
Residuos	7.78527	12	0.648772		
Total (corregido)	192.74	17			

El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia honestamente significativa (HSD) de Tukey. Con este método hay un riesgo del 5% al decir que uno o más pares son significativamente diferentes, cuando la diferencia real es igual a 0. Esta tabla

aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

En el cuadro 13, con referencia al extractante no existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's.

Cuadro 13. Prueba de Tukey para el Pb por extractante al 95 % de confianza

Extractante	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
EDTA	6	27,54	0,456833	X
Ac. Cítrico	6	29,8917	0,456833	X
Ac. Acético	6	32,4283	0,456833	X

En el cuadro 14, representa una comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95% de confianza.

Cuadro 14. Contraste de diferencias significativas entre los distintos extractantes para el Pb

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Ac. Cítrico - Ac. Acético	*	-2,53667	1,6974
Ac. Cítrico - EDTA	*	2,35167	1,6974
Ac. Acético - EDTA	*	4,88833	1,6974

\* indica una diferencia significativa.

En el cuadro 15, se muestra la prueba de Tukey para la concentración, en donde se puede apreciar que las dos concentraciones presentaron efectos distintos para el Pb debido a que no comparten la misma columna de Xs

Cuadro 15. Prueba de Tukey para el Pb por concentración al 95% de confianza

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0,5	9	27,5556	0,373002	X
0,3	9	32,3511	0,373002	X

En el cuadro 16, se puede apreciar el contraste entre las dos concentraciones propuestas, corroborando con ello que presentan una diferencia significativa entre ellos.

Cuadro 16. Contraste de diferencias significativas entre las distintas concentraciones para el Pb

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0,3 – 0,5	*	4,79556	1,13139

\* indica una diferencia significativa.

#### 4.2. Eficiencia de remoción de plomo

En la figura 7, se puede apreciar un gráfico de barras en la cual muestras los tres diferentes extractantes con las dos concentraciones utilizadas mostrando con ello que a concentración de 0,5M obtenemos mejor eficiencia de remoción de los tres extractantes, siendo el EDTA a 0,5M (T<sub>5</sub>) con un 69,5% de eficiencia de remoción seguido del ácido cítrico a 0,5M (T<sub>3</sub>) con un 65,2% y finalmente el ácido acético a 0,5M (T<sub>1</sub>) con 61,1%.

Por otro lado comparamos el porcentaje de remoción de todos los tratamientos con la hipótesis propuesta, donde se menciona que los tres agentes extractantes y a concentraciones diferentes obtendrán una eficiencia del 50% en la remoción de plomo. La presente figura nos muestra que se cumple la hipótesis planteada.

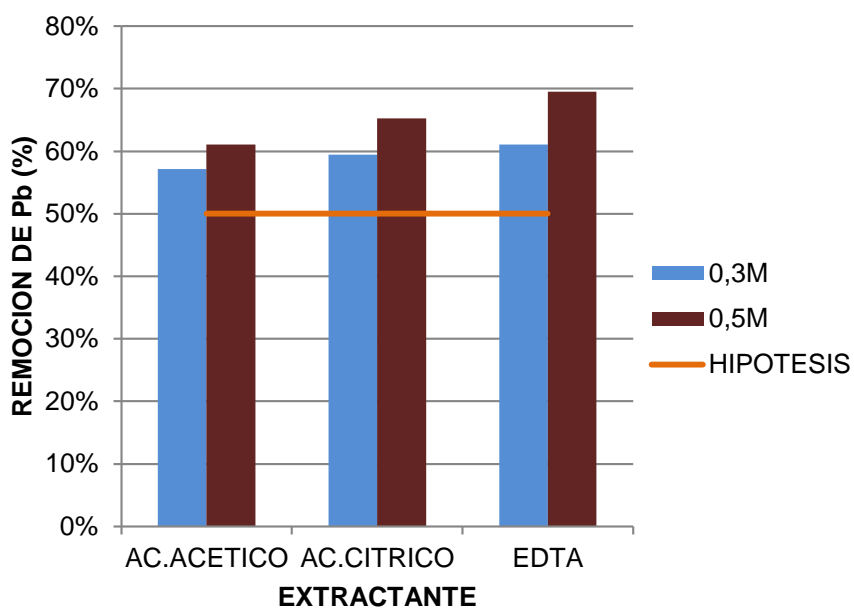


Figura 7. Eficiencia de remoción de plomo

#### 4.3. Determinación de los efectos de los extractantes en los parámetros químicos del suelo

En el cuadro 17 muestra los valores promedios y coeficiente de variación de los parámetros químicos del suelo inicial y posterior a los tratamientos utilizados con agentes extractantes.

##### 4.3.1. Resultado del análisis químico

Cuadro 17. Resultado del análisis químico inicial-final de los tratamientos con agentes extractantes

Parámetros Químicos	Suelo Inicial	Suelo								
		cont. Pb	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	
Pb ppm	x	10,5	79,36	74,9	30,8	34	27,6	32,1	24,1	30,9
	cv	-	-	1,3%	3,3%	2,8%	2,8%	1,1%	1,9%	3,3%
PH 1:1	x	7,12	6,37	6,67	5,7	5,73	5,56	5,59	5,88	5,91
	cv	-	-	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%

M.O	x	1,65	1,63	1,48	1,55	1,56	1,62	1,62	1,67	1,66
	cv	-	-	0,7%	0,4%	0,4%	0,6%	0,6%	0,3%	0,3%
N %	x	0,074	0,073	0,066	0,07	0,07	0,07	0,073	0,075	0,075
	cv	-	-	0,9%	1,4%	1,6%	0,8%	0,8%	0,8%	0,8%
P (ppm)	x	7,35	6,54	6,06	5,14	5,07	5,39	5,56	5,61	5,47
	cv	-	-	0,9%	0,3%	0,2%	5,7%	0,3%	0,5%	0,3%
K (ppm)	x	52,18	39,43	87,22	48,9	45,0	23,8	21,3	84,8	82,85
	cv	-	-	0,1%	0,7%	0,3%	0,4%	1,3%	0,6%	0,4%
CIC	x	11	9	8,2	12,6	12	13,3	13,1	13,8	13,5
	cv	-	-	0,8%	0,5%	0,5%	0,4%	0,2%	0,2%	0,3%
Ca	x	9,26	7,34	6,39	9,89	9,5	10,2	10,1	11,4	11,2
	cv	-	-	0,6%	0,5%	0,5%	0,4%	0,2%	0,1%	0,2%
Mg	x	1,54	1,21	1,05	1,65	1,6	1,71	1,67	1,9	1,8
	cv	-	-	1,9%	0,4%	0,6%	1,0%	1,2%	1,3%	0,9%

#### 4.3.2. Efecto del pH

En la figura 8, se observa que el pH de suelo inicial es 7,12 y que al ser contaminado con el Pb baja a 6,37.

Después de realizar los tratamientos propuestos, el análisis del suelo nos muestra que el pH desciende y que oscila desde 5,56 con el tratamiento de 0,5M ácido cítrico hasta 5,91 con el tratamiento 0,3M EDTA.

Por otro lado tenemos que el tratamiento con mayor porcentaje de remoción de plomo es el 0,5M EDTA con un pH de suelo resultante de 5,88; y con el menor porcentaje de remoción de plomo el tratamiento con agua destilada con un pH de suelo resultante de 6,67; el cual posee un pH mayor comparado al suelo contaminado con plomo.

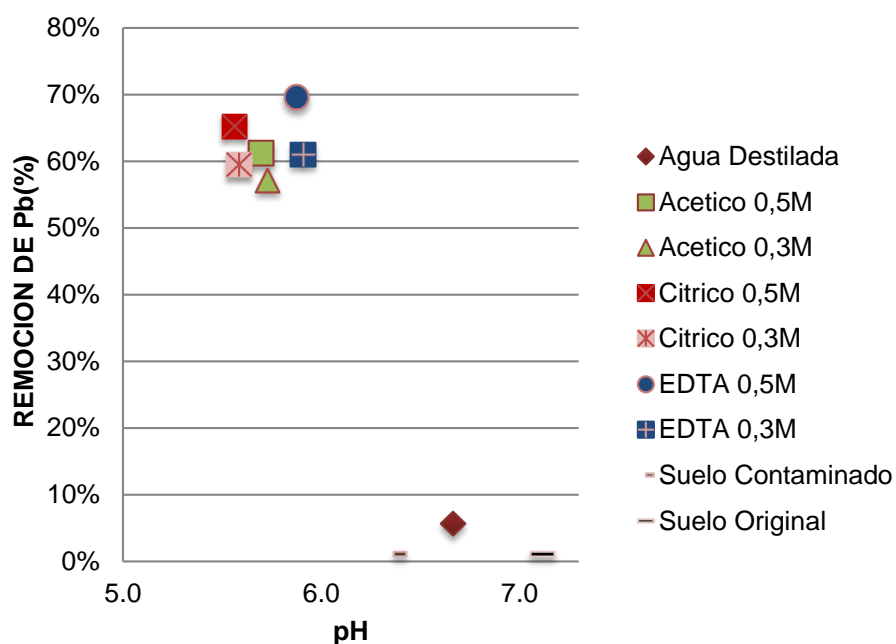


Figura 8. Variación del pH del suelo en relación al porcentaje de remoción de plomo

Para poder determinar si los extractantes y las concentraciones realizadas con respecto al valor de pH del suelo inicial no causo efecto ( $H_0$ ), o si por lo menos uno de ellos causo efecto con respecto al pH inicial del suelo ( $H_a$ ), se realizó el análisis de varianza, con un nivel de significancia de 0,05, teniendo como resultado el valor de p es menor que el nivel de significancia, se rechaza la hipótesis nula para ambos.

Cuadro 18. ANOVA con respecto al pH

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Concentración	0,00405	1	0,00405	72,90	0,0000
B: Extractantes	0,305233	2	0,152617	2747,10	0,0000
AB: Interacciones	0,0001	2	0,00005	0,90	0,4323
Residuos	0,000666667	12	0,0000555556		
Total (corregido)	0,31005	17			

En el cuadro 19, se presenta los resultados de la prueba de Tukey con respecto a los extractantes utilizados, mostrándose que no tienen el mismo efecto sobre el pH.

Cuadro 19. Prueba de Tukey para el pH por extractante al 95 % de confianza

Extractantes	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Ac. Cítrico	6	5,575	0,00302109	X
Ac. Acético	6	5,71667	0,00302109	X
EDTA	6	5,89333	0,00302109	X

En el cuadro 20, se confirma las diferencias entre dos pares de extractantes evidenciando con una significancia señalada por un asterisco

Cuadro 20. Contraste de diferencias significativas entre las distintos extractantes para el pH

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Ac. Cítrico - Ac. Acético	*	-0,141667	0,0112251
Ac. Cítrico – EDTA	*	-0,318333	0,0112251
Ac. Acético – EDTA	*	-0,176667	0,0112251

\* indica una diferencia significativa.

En el cuadro 21, se presenta los resultados de la prueba de Tukey con respecto a las concentraciones utilizadas, mostrándose que no tienen el mismo efecto sobre el pH.

Cuadro 21. Prueba de Tukey para el pH por concentración al 95 % de confianza

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0,5	9	5,71333	0,00246671	X
0,3	9	5,74333	0,00246671	X

En el cuadro 22, se confirma la diferencia entre los dos tipos de concentración evidenciando con una significancia señalada por un asterisco.

Cuadro 22. Contraste de diferencias significativas entre las distintas concentraciones para el pH

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0,3 – 0,5	*	0,03	0,00748201

\* indica una diferencia significativa.

### 4.3.3. Efecto de Materia Orgánica

En la figura 9, se observa que el porcentaje de materia orgánica de suelo inicial es 1,65% y que al ser contaminado con el plomo baja a 1,63%.

Después de realizar los tratamientos propuestos, el análisis del suelo nos muestra que el menor porcentaje de materia orgánica es de 1,48% con el tratamiento de agua destilada, siendo esta misma el que posee menor porcentaje de remoción de plomo.

Por otro lado el máximo porcentaje de remoción de plomo es el tratamiento de 0,5M EDTA siendo esta misma el que posee mayor porcentaje de materia orgánica 1,67 %.

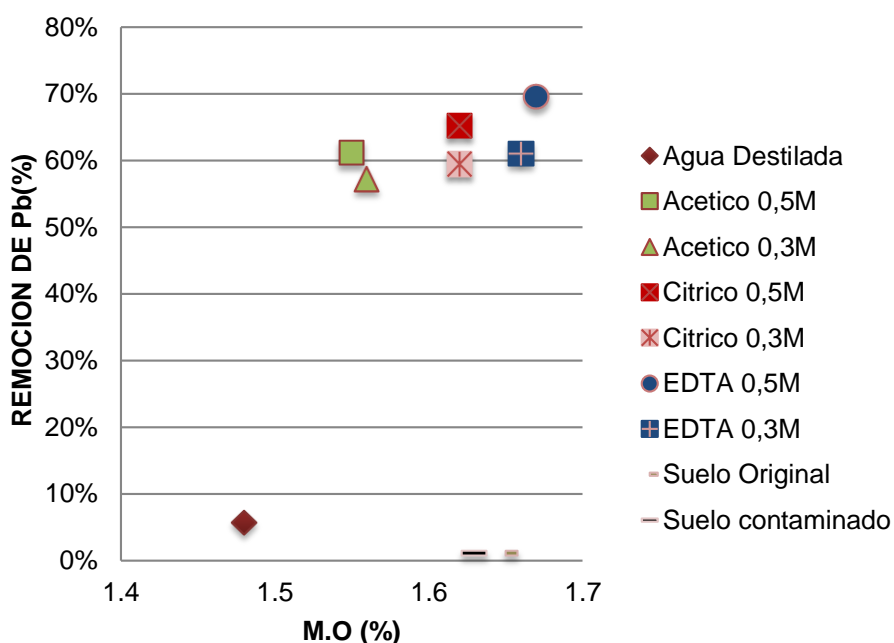


Figura 9. Variación del porcentaje de M.O del suelo en relación al porcentaje de remoción de plomo

Para poder determinar si los extractantes y las concentraciones realizadas con respecto al porcentaje de materia orgánica del suelo inicial no causo efecto (Ho), o si por lo menos uno de ellos causo efecto con respecto al

porcentaje de materia orgánica (Ha), se realizó el análisis de varianza, con un nivel de significancia de 0,05; teniendo como resultado el valor de p, para la concentración se acepta la (Ho), por otro lado para los extractantes se rechaza la (Ho).

Cuadro 23. ANOVA con respecto a materia orgánica

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A: Concentración	0,0000888889	1	0,0000888889	1,60	0,2299
B: Extractantes	0,0367	2	0,01835	330,30	0,0000
AB: Interacciones	0,000344444	2	0,000172222	3,10	0,0822
Residuos	0,000666667	12	0,0000555556		
Total (corregido)	0,0378	17			

En el cuadro 24, se presenta los resultados de la prueba de Tukey con respecto a los extractantes utilizados, mostrándose que no tienen el mismo efecto sobre la materia orgánica.

Cuadro 24. Prueba de Tukey para materia orgánica por extractante al 95 % de confianza

Extractantes	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Ac. Acético	6	1,555	0,00346944	X
Ac. Cítrico	6	1,62	0,00346944	X
EDTA	6	1,665	0,00346944	X

En el cuadro 25, se confirma las diferencias entre dos pares de extractantes, evidenciando con una significancia señalada por un asterisco

Cuadro 25. Contraste de diferencias significativas entre los distintos extractantes para la materia orgánica

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Ac. Cítrico - Ac. Acético	*	0,065	0,012891
Ac. Cítrico - EDTA	*	-0,045	0,012891
Ac. Acético - EDTA	*	-0,11	0,012891

\* indica una diferencia significativa.

En el cuadro 26, se presenta los resultados de la prueba de tukey con respecto a las concentraciones utilizadas, mostrándose que tienen el mismo efecto sobre el porcentaje de materia orgánica.

Cuadro 26. Prueba de Tukey para materia orgánica por concentración al 95 % de confianza

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0,3	9	1,61111	0,00283279	X
0,5	9	1,61556	0,00283279	X

En el cuadro 27, se confirma que no existe diferencia significativa entre los dos tipos de concentraciones evidenciando por la ausencia de un asterisco.

Cuadro 27. Contraste de diferencias significativas entre las distintas concentraciones para la materia orgánica

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0,3 – 0,5		-0,00444444	0,00859239

\* indica una diferencia significativa.

#### 4.3.4. Efecto de capacidad de Intercambio catiónico (CIC)

En la figura 10, se observa que el valor de CIC del suelo original es de 11,05 y que al ser contaminado con el plomo baja a 9,08.

Después de realizar los tratamientos propuestos, el análisis del suelo nos muestra que la CIC aumenta, nos muestra el menor valor de 8,25 con el tratamiento de agua destilada, que es el mismo tratamiento que posee un menor porcentaje de remoción de plomo.

El mayor valor de CIC es de 13,85 con el tratamiento de 0,5M EDTA, y es el mismo tratamiento que posee el mayor porcentaje de remoción de plomo.

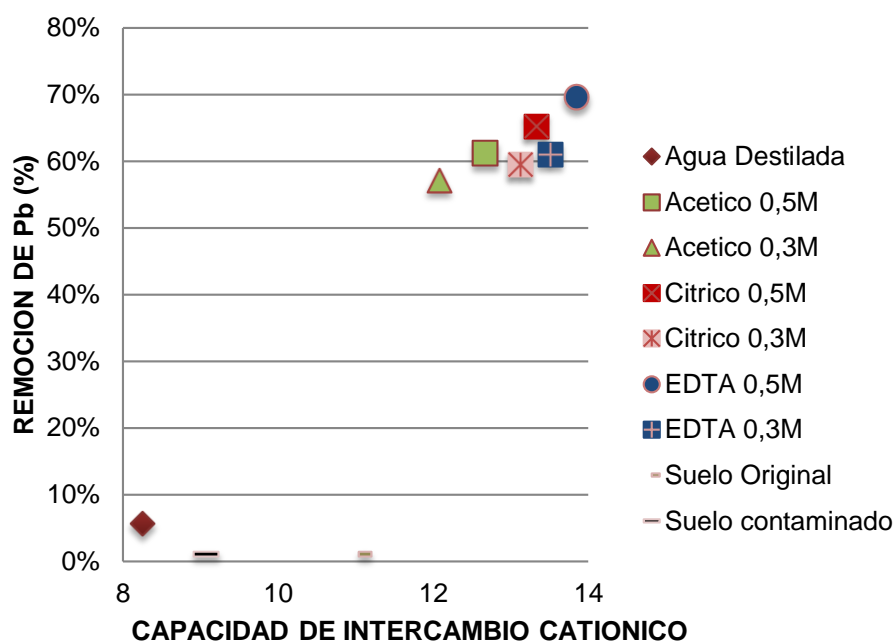


Figura 10. Variación de la Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo en relación al porcentaje de remoción de plomo

Para poder determinar si los extractantes y las concentraciones realizadas con respecto a la capacidad de intercambio catiónico del suelo inicial no causo efecto ( $H_0$ ), o si por lo menos uno de ellos causo efecto con respecto a la capacidad de intercambio catiónico del suelo ( $H_a$ ), se realizó el análisis de varianza, con un nivel de significancia de 0,05; teniendo como resultado el valor de  $p$  es menor que el nivel de significancia, se rechaza la hipótesis nula para ambos.

Cuadro 28. ANOVA con respecto a la capacidad de intercambio catiónico

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Concentracion	0,6728	1	0,6728	284,95	0,0000
B:Extractantes	5,24168	2	2,62084	1110,00	0,0000
AB: Interacciones	0,119633	2	0,0598167	25,33	0,0000
Residuos	0,0283333	12	0,00236111		
Total (corregido)	6,06244	17			

En el cuadro 29, se presenta los resultados de la prueba de Tukey con respecto a los extractantes utilizados, mostrándose que no tienen el mismo efecto sobre la capacidad de intercambio catiónico.

Cuadro 29. Prueba de Tukey para C.I.C por extractante al 95 % de confianza

Extractantes	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Ac. Acético	6	12,3783	0,0419703	X
Ac. Cítrico	6	13,2283	0,0419703	X
EDTA	6	13,68	0,0419703	X

En el cuadro 30, se confirma las diferencias entre dos pares de extractantes evidenciando con una significancia señalada por un asterisco.

Cuadro 30. Contraste de diferencias significativas entre los distintos extractantes para C.I.C

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Ac. Cítrico - Ac. Acético	*	0,85	0,155944
Ac. Cítrico - EDTA	*	-0,451667	0,155944
Ac. Acético - EDTA	*	-1,30167	0,155944

\* indica una diferencia significativa.

En el cuadro 31, se presenta los resultados de la prueba de Tukey con respecto a las concentraciones utilizadas, mostrándose que no tienen el mismo efecto sobre la capacidad de intercambio catiónico.

Cuadro 31. Prueba de Tukey para C.I.C por concentración al 95 % de confianza

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0,3	9	12,9022	0,0342686	X
0,5	9	13,2889	0,0342686	X

En el cuadro 32, se confirma la diferencia entre los dos tipos de concentración evidenciando con una significancia señalada por un asterisco.

Cuadro 32. Contraste de diferencias significativas entre las distintas concentraciones para C.I.C

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0,3 – 0,5	*	-0,386667	0,103943

\* indica una diferencia significativa.

#### 4.3.5. Efecto de bases cambiables (calcio y magnesio)

##### a. Calcio

En la figura 11, se observa que el valor de calcio del suelo original es de 9,26 y que al ser contaminado con el plomo baja a 7,34.

Después de realizar los tratamientos propuestos, el análisis del suelo nos muestra el menor valor de 6,39 con el tratamiento de agua destilada, que es el mismo tratamiento que posee un menor porcentaje de remoción de plomo.

El mayor valor de calcio es de 11,41 con el tratamiento de 0,5M EDTA, y es el mismo tratamiento que posee el mayor porcentaje de remoción de plomo.

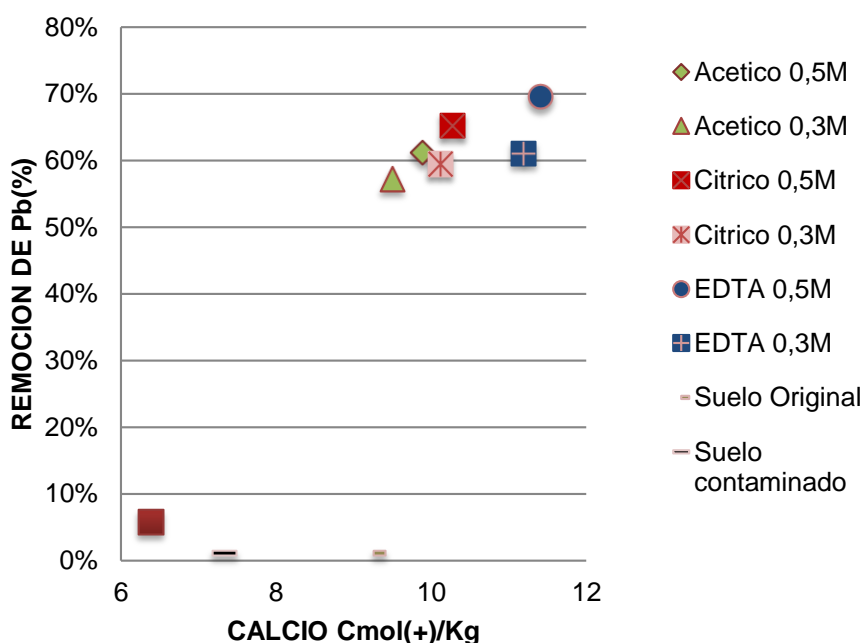


Figura 11. Variación del calcio en el suelo en relación al porcentaje de remoción de plomo

Para poder determinar si los extractantes y las concentraciones realizadas con respecto al valor de calcio del suelo inicial no causo efecto ( $H_0$ ), o si por lo menos uno de ellos causo efecto con respecto al calcio inicial del suelo

(Ha), se realizó el análisis de varianza, con un nivel de significancia de 0.05, teniendo como resultado el valor de p es menor que el nivel de significancia, se rechaza la hipótesis nula para ambos.

Cuadro 33. ANOVA con respecto al calcio

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón- F	Valor-P
A:Concentracion	0,283756	1	0,283756	204,30	0,0000
B:Extractante	8,13231	2	4,06616	2927,63	0,0000
AB: Interacciones	0,0440444	2	0,0220222	15,86	0,0004
Residuos	0,0166667	12	0,00138889		
Total (corregido)	8,47678	17			

En el cuadro 34, se presenta los resultados de la prueba de Tukey con respecto a los extractantes utilizados, mostrándose que no tienen el mismo efecto sobre el calcio.

Cuadro 34. Prueba de Tukey para calcio por extractante al 95 % de confianza

Extractantes	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Ac. Acético	6	9,69333	0,026884	X
Ac. Cítrico	6	10,2	0,026884	X
EDTA	6	11,3033	0,026884	X

En el cuadro 35, se confirma las diferencias entre dos pares de extractantes evidenciando con una significancia señalada por un asterisco.

Cuadro 35. Contraste de diferencias significativas entre los distintos extractantes para calcio

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Ac Cítrico- Ac. Acético	*	0,506667	0,09989
Ac Cítrico - EDTA	*	-1,10333	0,09989
Ac. Acético - EDTA	*	-1,61	0,09989

\* indica una diferencia significativa.

En el cuadro 36, se presenta los resultados de la prueba de Tukey con respecto a las concentraciones utilizadas, mostrándose que no tienen el mismo efecto sobre el calcio.

Cuadro 36. Prueba de Tukey para calcio por concentración al 95 % de confianza

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0,3	9	10,2733	0,0219507	X
0,5	9	10,5244	0,0219507	X

En el cuadro 37, se confirma la diferencia entre los dos tipos de concentración evidenciando con una significancia señalada por un asterisco.

Cuadro 37. Contraste de diferencias significativas entre las distintas concentraciones para calcio

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0,3 – 0,5	*	-0,251111	0,0665808

\* indica una diferencia significativa.

### **b. Magnesio**

En la figura 12, se observa que el valor de magnesio del suelo original es de 1,54 y que al ser contaminado con el plomo baja a 1,21. Después de realizar los tratamientos propuestos, el análisis del suelo nos muestra el menor valor de 1,05 con el tratamiento de agua destilada, que es el mismo tratamiento que posee un menor porcentaje de remoción de plomo. El mayor valor de calcio es de 1,90 con el tratamiento de 0,5M EDTA, y es el mismo tratamiento que posee el mayor porcentaje de remoción de plomo.

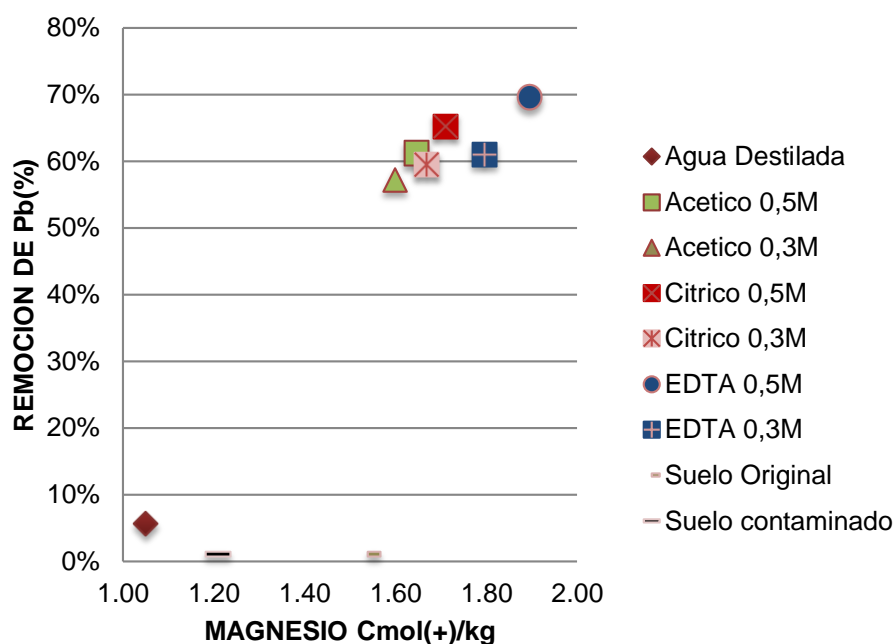


Figura 12. Variación del magnesio en el suelo en relación al porcentaje de remoción de plomo

Para poder determinar si los extractantes y las concentraciones realizadas con respecto al valor de magnesio del suelo inicial no causo efecto ( $H_0$ ), o si por lo menos uno de ellos causo efecto con respecto al magnesio inicial del suelo ( $H_a$ ), se realizó el análisis de varianza, con un nivel de significancia de 0,05; teniendo como resultado el valor de  $p$  es menor que el nivel de significancia, se rechaza la hipótesis nula para ambos.

Cuadro 38. ANOVA con respecto al magnesio

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Concentracion	0,0174222	1	0,0174222	61,49	0,0000
B:Extractante	0,157733	2	0,0788667	278,35	0,0000
AB: Interacciones	0,00324444	2	0,00162222	5,73	0,0180
Residuos	0,0034	12	0,000283333		
Total (corregido)	0,1818	17			

En el cuadro 39, se presenta los resultados de la prueba de Tukey con respecto a los extractantes utilizados, mostrándose que no tienen el mismo efecto sobre el magnesio.

Cuadro 39. Prueba de Tukey para magnesio por extractante al 95 % de confianza

Extractantes	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Ac. Acético	6	1,62333	0,00889385	X
Ac. Cítrico	6	1,69	0,00889385	X
EDTA	6	1,84667	0,00889385	X

En el cuadro 40, se confirma las diferencias entre dos pares de extractantes evidenciando con una significancia señalada por un asterisco.

Cuadro 40. Contraste de diferencias significativas entre los distintos extractantes para magnesio

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Ac. Cítrico - Ac. Acético	*	0,066667	0,0330459
Ac. Cítrico - EDTA	*	-0,156667	0,0330459
Ac. Acético - EDTA	*	-0,223333	0,0330459

\* indica una diferencia significativa.

En el cuadro 41, se presenta los resultados de la prueba de Tukey con respecto a las concentraciones utilizadas, mostrándose que no tienen el mismo efecto sobre el magnesio.

Cuadro 41. Prueba de Tukey para magnesio por concentración al 95 % de confianza

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0,3	9	1,68889	0,0072618	X
0,5	9	1,75111	0,0072618	X

En el cuadro 42, se confirma la diferencia entre los dos tipos de concentración evidenciando con una significancia señalada por un asterisco.

Cuadro 42. Contraste de diferencias significativas entre las distintas concentraciones para magnesio

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0,3 – 0,5	*	-0,0622222	0,0220264

\* indica una diferencia significativa

#### 4.3.6. Efecto en Nitrógeno (N)

En la figura 13, se observa que el porcentaje de nitrógeno del suelo inicial es 0,074% y que al ser contaminado con el Pb baja a 0,073%.

Después de realizar los tratamientos propuestos, el análisis del suelo nos muestra que el menor porcentaje de nitrógeno es de 0,066% con el tratamiento de agua destilada, siendo esta misma el que posee menor porcentaje de remoción de plomo. Por otro lado el máximo porcentaje de remoción de plomo es el tratamiento de 0,5M EDTA siendo esta misma el que posee mayor porcentaje de nitrógeno de 0,075 %.

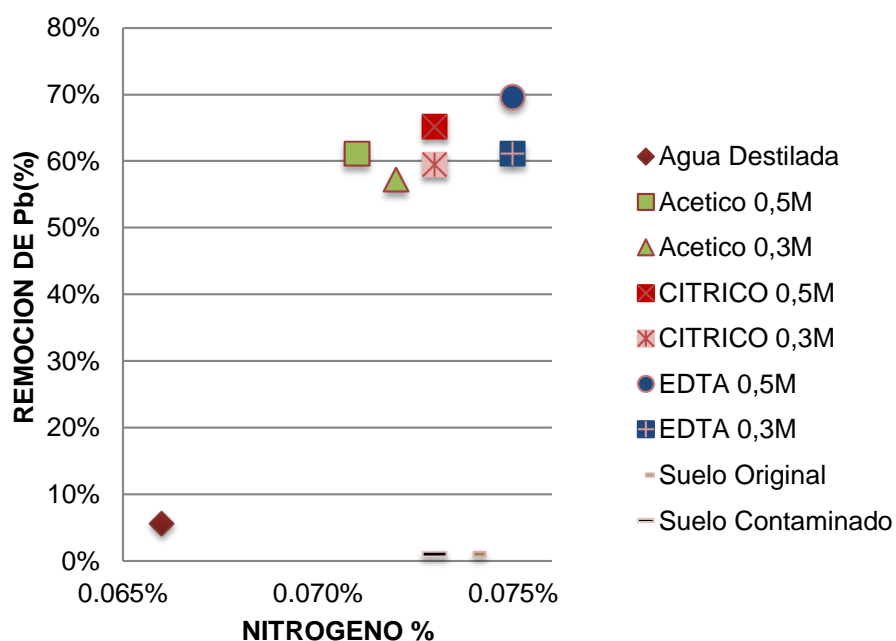


Figura 13. Variación del porcentaje de Nitrógeno del suelo en relación al porcentaje de remoción de plomo

Para poder determinar si los extractantes y las concentraciones realizadas con respecto al nitrógeno del suelo inicial no causo efecto ( $H_0$ ), o si por lo menos uno de ellos causo efecto con respecto al nitrógeno ( $H_a$ ), se realizó el análisis de varianza, con un nivel de significancia de 0,05; teniendo como resultado el valor de p, para la concentración se acepta la ( $H_0$ ), por otro lado para los extractantes se rechaza la ( $H_0$ ).

Cuadro 43. ANOVA con respecto al nitrógeno

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Concentracion	2,22222E-7	1	2,22222E-7	0,36	0,5577
B:Extractante	0,0000351111	2	0,0000175556	28,73	0,0000
AB: Interacción	0,00000311111	2	0,00000155556	2,55	0,1198
Residuos	0,00000733333	12	6,11111E-7		
Total (corregido)	0,0000457778	17			

En el cuadro 44, se presenta los resultados de la prueba de Tukey con respecto a los extractantes utilizados, mostrándose que tienen el mismo efecto los extractantes de ácido acético y ácido cítrico sobre el nitrógeno, por otro lado el EDTA posee un efecto diferente.

Cuadro 44. Prueba de Tukey para nitrógeno por extractante al 95 % de confianza

Extractantes	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Ac. Acético	6	0,0716667	0,000352617	X
Ac. Cítrico	6	0,0726667	0,000352617	X
EDTA	6	0,075	0,000352617	X

En el cuadro 45, se confirma que no existe diferencia significativa entre los dos tipos de extractantes (cítrico y acético) evidenciado por la ausencia de un asterisco. Por otro lado existe diferencia entre los pares de extractantes evidenciado con una significancia señalada por un asterisco.

Cuadro 45. Contraste de diferencias significativas entre los distintos extractantes para nitrógeno

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Ac. Cítrico - Ac. Acético		0,001	0,00131018
Ac. Cítrico - EDTA	*	-0,00233333	0,00131018
Ac. Acético - EDTA	*	-0,00333333	0,00131018

\* indica una diferencia significativa.

En el cuadro 46, se presenta los resultados de la prueba de tukey con respecto a las concentraciones utilizadas, mostrándose que tienen el mismo efecto sobre el nitrógeno.

Cuadro 46. Prueba de Tukey para nitrógeno por concentración al 95 % de confianza

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0,5	9	0,073	0,00028791	X
0,3	9	0,0732222	0,00028791	X

En el cuadro 47, se confirma que no existe diferencia significativa entre los dos tipos de concentraciones evidenciando por la ausencia de un asterisco.

Cuadro 47. Contraste de diferencias significativas entre las distintas concentraciones para nitrógeno

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0,3 – 0,5		0,000222222	0,000873288

\* indica una diferencia significativa.

#### 4.3.7. Efecto en Fosforo disponible (P)

En la figura 14, se observa que el valor de fosforo del suelo original es de 7,35 ppm y que al ser contaminado con el plomo baja a 6,54 ppm.

Después de realizar los tratamientos propuestos, el análisis del suelo nos muestra que el fosforo desciende y que oscila desde 5,07 ppm con el

tratamiento de 0,3M ácido acético hasta 6,06 ppm con el tratamiento agua destilada.

Por otro lado tenemos que el tratamiento con mayor porcentaje de remoción de plomo es el 0,5M EDTA con un fosforo resultante de 5,61 ppm.

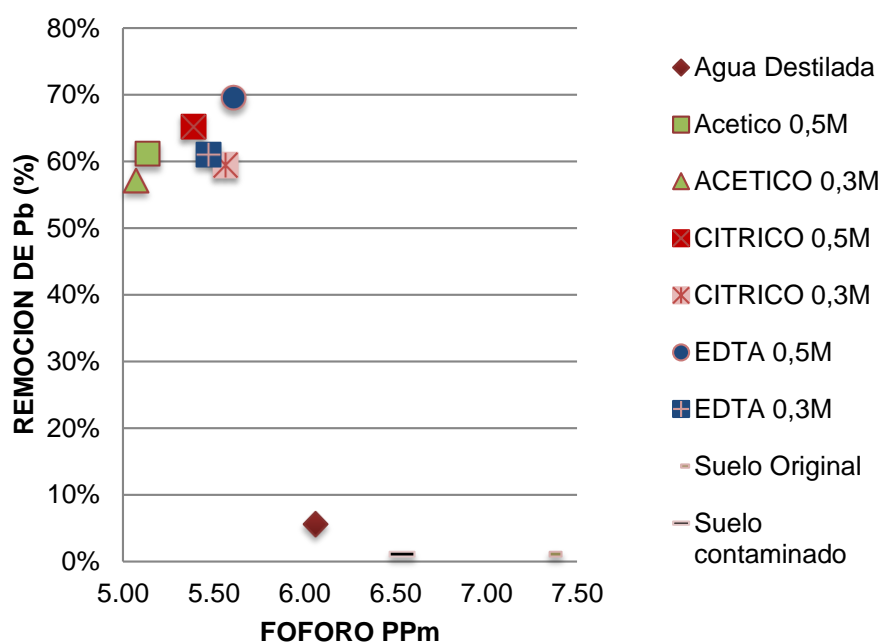


Figura 14. Variación del fosforo del suelo en relación al porcentaje de remoción de plomo

Para poder determinar si los extractantes y las concentraciones realizadas con respecto al porcentaje de fosforo del suelo inicial no causo efecto ( $H_0$ ), o si por lo menos uno de ellos causo efecto con respecto al fosforo ( $H_a$ ), se realizó el análisis de varianza, con un nivel de significancia de 0,05; teniendo como resultado el valor de p, para la concentración se acepta la ( $H_0$ ), por otro lado para los extractantes se rechaza la ( $H_0$ ).

Cuadro 48. ANOVA con respecto al fosforo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Concentracion	0,000272222	1	0,000272222	0,02	0,8985
B:Extractantes	0,664044	2	0,332022	20,69	0,0001
AB: Interacciones	0,0805778	2	0,0402889	2,51	0,1227
Residuos	0,192533	12	0,0160444		
Total (corregido)	0,937428	17			

En el cuadro 49, se presenta los resultados de la prueba de Tukey para el fosforo con respecto a los extractantes utilizados, mostrándose que tienen el mismo efecto los extractantes (ácido cítrico y EDTA) y un efecto diferente el ácido acético.

Cuadro 49. Prueba de Tukey para fosforo por extractante al 95 % de confianza

Extractantes	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Ac. Acético	6	5,105	0,0570204	X
Ac. Cítrico	6	5,475	0,0570204	X
EDTA	6	5,54167	0,0570204	X

En el cuadro 50, se confirma las diferencias entre dos pares de extractantes como son (ácido cítrico y ácido acético), (ácido acético y EDTA) evidenciando con una significancia señalada por un asterisco. Por otro lado no existe diferencia entre los extractante de ácido cítrico y EDTA evidenciado por la ausencia de un asterisco.

Cuadro 50. Contraste de diferencias significativas entre los distintos extractantes para fosforo

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Ac. Cítrico - Ac. Acético	*	0,37	0,211864
Ac. Cítrico - EDTA		-0,0666667	0,211864
Ac. Acético - EDTA	*	-0,436667	0,211864

\* indica una diferencia significativa.

En el cuadro 51, se presenta los resultados de la prueba de tukey con respecto a las concentraciones utilizadas, mostrándose que tienen el mismo efecto sobre el fosforo.

Cuadro 51. Prueba de Tukey para fosforo por concentración al 95 % de confianza

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0,3	9	5,37	0,0465569	X
0,5	9	5,37778	0,0465569	X

En el cuadro 52, se confirma que no existe diferencia significativa entre los dos tipos de concentraciones evidenciando por la ausencia de un asterisco.

Cuadro 52. Contraste de diferencias significativas entre las distintas concentraciones para fosforo

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0,3 – 0,5		-0,00777778	0,141216

\* indica una diferencia significativa.

#### 4.3.8. Efecto de potasio disponible (K)

En la figura 15, se observa que el valor de potasio del suelo original es de 52,18 ppm y que al ser contaminado con el plomo baja a 39,43 ppm. Después de realizar los tratamientos propuestos, el análisis del suelo nos muestra que los valores oscilan entre el menor valor de potasio que es de 21,3 ppm con el tratamiento de 0,3M ácido cítrico hasta 87,22 ppm con el tratamiento agua destilada. Por otro lado, tenemos que el tratamiento con mayor porcentaje de remoción de plomo es el 0,5M EDTA con un potasio resultante de 84,83 ppm.

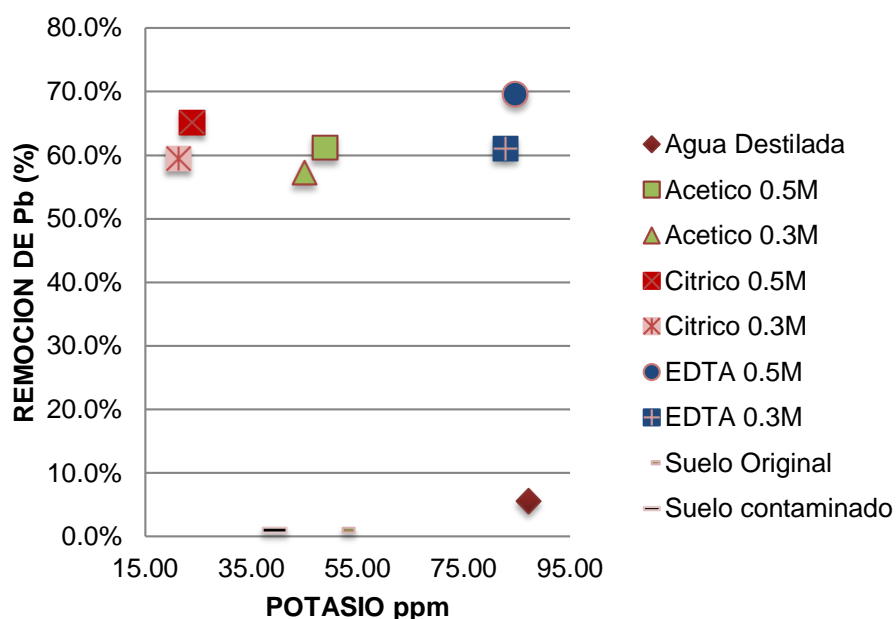


Figura 15. Variación del potasio del suelo en relación al porcentaje de remoción de plomo

Para poder determinar si los extractantes y las concentraciones realizadas con respecto al valor de potasio del suelo inicial no causo efecto ( $H_0$ ), o si por lo menos uno de ellos causo efecto con respecto al potasio inicial del suelo ( $H_a$ ), se realizó el análisis de varianza, con un nivel de significancia de 0,05; teniendo como resultado el valor de  $p$  es menor que el nivel de significancia, se rechaza la hipótesis nula para ambos.

Cuadro 53. ANOVA con respecto al potasio

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Concentracion	35,6731	1	35,6731	383,26	0,0000
B:Extractante	11408,3	2	5704,16	61283,81	0,0000
AB: Interacciones	2,85741	2	1,42871	15,35	0,0005
Residuos	1,11693	12	0,0930778		
Total (corregido)	11448,0	17			

En el cuadro 54, se presenta los resultados de la prueba de Tukey con respecto a los extractantes utilizados, mostrándose que no tienen el mismo efecto sobre el potasio.

Cuadro 54. Prueba de Tukey para potasio por extractante al 95 % de confianza

Extractante	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
Ac. Cítrico	6	22,595	0,217517	X
Ac. Acético	6	46,97	0,217517	X
EDTA	6	83,8383	0,217517	X

En el cuadro 55, se confirma las diferencias entre dos pares de extractantes evidenciando con una significancia señalada por un asterisco

Cuadro 55. Contraste de diferencias significativas entre los distintos extractantes para potasio

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Ac. Cítrico - Ac. Acético	*	-24,375	0,808203
Ac. Cítrico - EDTA	*	-61,2433	0,808203
Ac. Acético - EDTA	*	-36,8683	0,808203

\* indica una diferencia significativa.

En el cuadro 56, se presenta los resultados de la prueba de Tukey con respecto a las concentraciones utilizadas, mostrándose que no tienen el mismo efecto sobre el potasio.

Cuadro 56. Prueba de Tukey para potasio por concentración al 95 % de confianza

Concentración	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0,3	9	49,7267	0,177602	X
0,5	9	52,5422	0,177602	X

En el cuadro 57, se confirma la diferencia entre los dos tipos de concentración evidenciando con una significancia señalada por un asterisco.

Cuadro 57. Contraste de diferencias significativas entre las distintas concentraciones para potasio

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0,3 – 0,5	*	<b>-2,81556</b>	0,538701

\* indica una diferencia significativa.

## V. DISCUSIÓN

Según los resultados obtenidos con respecto al extractante y concentración óptima para el lavado de suelo escala de laboratorio.

Uno de los factores que influyeron en la remoción del plomo fue el efecto del extracte, los resultados de la presente investigación nos indican que el mejor extracte utilizado fue el EDTA pues presenta la mínima concentración de plomo en el suelo 27,54 ppm seguido del ácido cítrico 29,89 ppm y por último el ácido acético con 32,43 ppm.

Según MOSQUERA (2014) en el estudio realizando la evaluación del proceso de lavado de suelo en relaves de minería. Realizo una comparación entre la efectividad del EDTA y el ácido cítrico como agente extractante. Cuando se emplearon soluciones de EDTA, los porcentajes de reducción de las concentraciones de los metales pesados analizados fueron superiores al 93,6% para el Cu , superiores de 98,4% para el Pb y de alrededor del 88% para el Zn; mientras que cuando se emplearon soluciones de ácido cítrico, los porcentajes de reducción de las concentraciones de dichos metales fueron de alrededor de 48,2% para el Cu; 46,2 % para el Zn y el 88,9% para el Pb, esto muestra que el EDTA es un mejor agente quelante que el ácido cítrico.

También uno de los factores fue el efecto de la concentración de los extractantes empleados, se evidencia mayores resultados con EDTA a concentración 0,5M con un porcentaje de remoción del plomo de 69,5% a

diferencia de la concentración de 0,3M que tiene un porcentaje de remoción de plomo de 61,06%; lo mismo sucede con el tratamiento de ácido cítrico que a 0,5M tiene una remoción de 65,2%, que es mayor comparando el mismo extractante a una concentración de 0,3M que tiene como remoción el 59,48% y por último el tratamiento de ácido acético que a 0,5M muestra una remoción de 61,1 % y a 0,3M obtenemos un resultado de 57,08% .

ALCAINO (2012), en sus estudios de comparación de tecnologías de remediación para suelos contaminados con metales, reafirma lo antes mencionado. En sus ensayos de lavado de suelo contaminado con arsénico, en su primer lavado con ácido fosfórico y ácido sulfúrico obtiene una recuperación muy baja de arsénico en cada caso, debido a esto realizó un segundo lavado para el cual se aumentó la concentración de ambos ácidos y dio como resultado un aumento de 28% y 25% considerable en la recuperación del dicho metal.

Según los resultados obtenidos con respecto a la eficiencia de remoción de plomo con diferentes extractantes y a diferentes concentraciones se obtuvo una máxima eficiencia de 69,5 % con el tratamiento de 0,5M EDTA, este resultado nos indica que existieron factores como el tipo de suelo, la naturaleza del contaminante, el tipo del extractante, el pH de la solución, la concentración de los extractantes, etc. Que hicieron la diferencia entre los tratamientos utilizados. Uno de los factores que influyeron en la remoción fue la naturaleza del contaminante, el plomo fue elegido como contaminante a tratar porque según sus características químicas reacciona fácilmente con los ácidos.

Según MOSQUERA (2017), el plomo se puede disolver a partir de fases oxidadas en soluciones acuosas de ácidos carboxílicos (-COOH) como son

ácido fórmico, ácido acético, ácido butírico, ácido benzoico, ácido cítrico, ácido etilendiaminotetracético (EDTA). A diferencia de los ácidos inorgánicos comunes tales como el ácido clorhídrico, nítrico y el sulfúrico; los ácidos carboxílicos, por lo general, son ácidos débiles, y se ionizan en forma limitada en el agua, lo cual tiene una ventaja medioambiental, alcanzando remociones mayores de 60% en los estudios empleados como agentes extractantes. En nuestra investigación se corrobora pues obtuvimos porcentaje de extracción del plomo mayores a 57%.

MARTINEZ *et al.* (2010), en su estudio de lavado de suelo contaminado con plomo, nos indica con respecto del efecto del extractante; el plomo no se puede extraer del suelo cuando se utiliza solamente agua. Sin embargo, cuando se utilizan otros extractantes se pueden alcanzar concentraciones importantes, pueden alcanzar eficiencia en la remoción de plomo en un 40% cuando utilizo ácido acético y valores mayores a 55% con el EDTA.

Otro factor influyente es el pH de las soluciones de los extractantes.

Según (EPA, 1996) El tipo de solución que se necesita para el tratamiento depende de los contaminantes que se hallen en el suelo. La solución de enjuague generalmente es uno de los siguientes líquidos: agua pura, agua con aditivos tales como ácidos (pH bajo), bases (pH alto) o agentes tensioactivos (como detergentes). El agua se usa para tratar contaminantes que se disuelven fácilmente en agua. Una solución acídica es una mezcla de agua y ácido. Las soluciones acídicas se usan para extraer metales y contaminantes orgánicos.

Una solución básica es una mezcla de agua y una base, como hidróxido de sodio, las soluciones básicas se usan para tratar fenoles y algunos

metales. Un agente tensioactivo puede ser un detergente o un emulsor. Los emulsores facilitan la mezcla de sustancias que normalmente no se mezclan, como aceite y agua. Por esta razón, las soluciones tensioactivas son eficaces para retirar contaminantes oleosos.

Se pudo observar en los resultados el pH de los extractantes de ácido cítrico a 0,5M y 0,3M no varían mucho entre sí, ya que se mantienen en 2,05 – 2,20 respectivamente y poseen una remoción de 65,2% y 59,48 % relativamente mayor comparado con los pH de las soluciones de ácido acético a 0,5M y 0,3M que también no varían entre si ya que se mantienen en 2,72 – 2,83; y poseen una remoción de 61.1% y 57.08%; mostrándonos con ello que a menor pH (más ácido) se obtuvo mayor remoción de plomo.

Pero también observamos que el pH de las diluciones de EDTA a 0,5M y 0,3M, que efectivamente no varían entre si manteniéndose en 4,38 – 4,41; este pH es mayor comparado a los otros tratamientos, pero esta opción posee mayor remoción de plomo, indicándonos que se debe en este caso por la clase de extractante, pues el EDTA tiene más de un sitio activo para la formación de ligandos, con ello pueden penetrar de mejor manera en el suelo y formar complejos metálicos más estables. Según los resultados obtenidos con respecto a los parámetros fisicoquímicos del suelo que poseen efectos en la remoción del plomo, obtuvimos como resultado de la prueba física del suelo inicial, la clase estructural resultó ser franco-arenosa, en tanto MARTINEZ *et al.* (2010) nos indica que este tipo de suelo es susceptible de ser tratado por el método de lavado de suelo porque el bajo contenido de arcilla permite una mayor extracción de los contaminantes del suelo.

También lo ratifica la ficha técnica para el ciudadano (EPA, 1996) el uso principal del lavado del suelo sea como técnica para reducir el volumen, concentrando los contaminantes en una masa relativamente pequeña de material. Cuando mayor sea el porcentaje de arena gruesa y grava en el material que deba tratarse (se lleva de vuelta al sitio), si por el contrario el suelo contaminado tienen un alto porcentaje de limo fino y arcilla, es recomendable que una parte mayor del material deberá ser sometido a otro tratamiento subsiguiente más costoso, ya que estos suelos no son buenos candidatos para un lavado, los contaminantes tienden a unirse fácilmente, en forma física o química al limo, la arcilla y el material orgánico. El limo, la arcilla y el material orgánico, a su vez, se unen físicamente a la arena y la grava. Cuando el suelo contiene una gran cantidad de arcilla y material orgánico, los contaminantes se unen fácilmente a la tierra y, por lo tanto, son más difíciles de separar que cuando hay poca arcilla y material orgánico.

Continuando con los parámetros químicos y su efecto, se observaron resultados de pH del suelo inicial es 7,12 y al ser contaminarlo con plomo se aprecia un resultado de pH más ácido a 6,37. Después de los tratamientos con las distintas soluciones ácidas el pH del suelo tiende a bajar en un rango de 5,56 con el tratamiento de 0,5M ácido cítrico hasta un pH máximo de 5,91 con el tratamiento de 0,3 EDTA; estos valores se encuentran relacionados proporcionalmente y directamente a los ácidos de las soluciones utilizadas y por consiguiente la ligera acidificación del suelo resultante; sin embargo no se encuentra fuera del rango óptimo citados por el siguiente autor.

GARCIA *et al.* (2002) el pH normal de suelo varía entre 4 y 8,5; cuando el pH de un sustrato esta fuera de este rango, la movilidad de los metales y por tanto su adsorción y solubilidad se ven modificadas. En suelos ácidos, se produce una competencia de los iones de  $H^+$  con los cationes metálicos por los sitios de intercambio. A pH bajo se produce desorción de los metales pesados, aumentando su concentración en la solución suelo y su disponibilidad. Al aumentar el pH los metales pesados son absorbidos por los coloides del suelo, disminuyendo su disponibilidad.

Otro de los factores químicos fue la materia orgánica

Según GARCIA *et al.* (2002), la materia orgánica es uno de los factores que más influye en la movilidad de los metales en el suelo debido a la facilidad que tiene la materia orgánica para reaccionar con los metales y formar complejos y quelatos cuya movilidad es superior a la del metal por sí solo.

Las interacciones entre metales y la materia orgánica pueden ocasionar la formación de complejos órgano-metálicos lo cual es un gran problema puesto que estos compuestos son altamente tóxicos y se dispersan fácilmente en el ambiente debido a su solubilidad; La materia orgánica, al complejar metales, produce un descenso de pH al liberar  $H^+$ . Al acidificar el suelo se pueden movilizar metales y provocar que una parte de los mismos pase a formas solubles.

La cantidad de metal ligada a la fracción orgánica de un suelo depende de las características propias del elemento. El porcentaje de metal enlazado ala materia orgánica procedente de la aplicación de enmiendas

orgánicas y extraído con EDTA (potencialmente disponible) puede llegar a ser de un 80-90% para Cd, Cu y Zn y de un 50-60% para Ni y Pb.

Se observa en los resultados que el porcentaje de materia orgánica de suelo inicial es 1,65% y que al ser contaminado con el plomo baja a 1,63%; estos resultados también coinciden en el pH del suelo contaminado con plomo, que tiende a acidificarse por la liberación del ion  $H^+$  y la formación de complejos órgano- metálicos.

Después de realizar los tratamientos propuestos, el análisis del suelo nos muestra que el menor porcentaje de materia orgánica es de 1,48% con el tratamiento de agua destilada, siendo esta misma el que posee menor porcentaje de remoción de plomo.

Por otro lado el máximo porcentaje de remoción de plomo es el tratamiento de 0,5M EDTA siendo esta misma el que posee mayor porcentaje de materia orgánica 1,67 %; y que por consiguiente es el valor que más se acerca al valor inicial del suelo, corroborando con esto el tratamiento más óptimo. Sin embargo los datos de materia orgánica se consideran bajos pues son menores al 2%.

Otro de los factores químico fue la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C).

Según GARAVITO (2012), en su estudio de extracción secuencial de metales pesados en dos tipos de suelos enmendados con ácidos húmicos; nos menciona que el incremento del tiempo donde estuvieron unidos el suelo contaminado con los ácidos húmicos, permitió la interacción de los metales con los diferentes componentes de los suelos y la reducción de su movilidad por

mecanismos como la formación de complejos estables y el incremento de la capacidad de intercambio catiónico del suelo.

Según MAHECHA *et al.* (2015), en su estudio de contenido de metales pesados en suelos agrícolas; menciona que en las propiedades físicas-químicas del suelo en estudio; la capacidad de intercambio catiónico está en la categoría de media a bajo, variando entre 7 a 21 meq/100g; dicha propiedad facilita la movilización de los metales en el suelo.

El resultado de la CIC del suelo original es de 11,05 meq/100g y que al ser contaminado con el plomo baja considerablemente a 9,08 meq/100g. Después de realizar los tratamientos propuestos, el análisis del suelo nos muestra que la C.I.C aumenta y nos muestra el menor valor de 8,25 con el tratamiento de agua destilada, que es el mismo tratamiento que posee un menor porcentaje de remoción de plomo.

El mayor valor de C.I.C es de 13,85 con el tratamiento de 0,5M EDTA, y es el mismo tratamiento que posee el mayor porcentaje de remoción de plomo.

Como menciona el autor en la parte experimental de la presente investigación; en el transcurso del lavado con los extractantes fueron puestos a reposo con ello aumentando su C.I.C por la interacción de los metales con los diferentes componentes. Por otro lado en el rango de la C.I.C coincide con la del autor que se encuentra en una categoría media a baja por tratarse de un suelo franco y dicha propiedad facilita la movilización de los metales; es por ello que se evidencia la remoción del plomo.

Otros factores considerados fueron el calcio (Ca) y magnesio (Mg).

Según ORTIZ (2006) en el libro de técnicas de recuperación de suelos contaminados; menciona en un método de recuperación la adición de carbonatos, zeolitas, fosfatos, minerales de hierro, bentonitas, hidroxico cálcico, compost o levaduras también ha sido empleada a la hora de inmovilizar y reducir la biodisponibilidad de metales tóxicos como Pb, U, As, Zn, Ni, Sr, Cu y Cd. Los mecanismos de secuestro de metales en suelos por estas enmiendas no se conocen por completo. Aunque los experimentos en campo indican la eficacia de estos tratamientos de inmovilización in situ, existen dudas sobre si estos mecanismos de recuperación son permanentes o reversibles en el tiempo. Si el tratamiento in situ induce su efecto a través de un cambio de pH, dando lugar a una adsorción, entonces una reacidificación del suelo podría aumentar de nuevo la biodisponibilidad de los metales y su toxicidad. Sin embargo, si las enmiendas promueven el secuestro de metales en formas no lábiles en suelo, atrapados en las estructuras de las arcillas o complejos por enlaces covalentes, entonces la inmovilización de los metales puede ser mucho más duradera.

Tras los resultados obtenidos de la presente investigación para (Ca y Mg), las muestras de suelo inicial posee 9,26 de Ca y 1,54 de Mg; al ser contaminado con plomo los carbonatos disminuyeron a 7,34 y 1,21 respectivamente; esto se podría explicar porque los carbonatos inmovilizan al contaminante adsorbiendo y/o reteniendo el metal.

Después de aplicar los diferentes tratamientos, se evidencia un aumento de carbonatos. En el calcio varía de 6,39 con el tratamiento de agua destilada hasta 11,41 con el tratamiento de 0,5M EDTA. Por otro lado el rango de Mg varía de 1,05 con el tratamiento de agua destilada hasta 1,90 con el

tratamiento de 0,5M EDTA; este aumento de carbonatos se puede explicar por la desorción de los carbonatos con el plomo, ya que el secuestro de los iones del metal se dieron en formas lábiles (poco estable) y a una re-acidificación debido a las soluciones empleadas, los metales se encontraban más disponibles para su extracción y aumentando así los carbonatos libres.

Otro de los factores que se consideró fueron fósforo y potasio; si bien es cierto no es un factor predominante en el desplazamiento y/o captura de los metales en el suelo, se consideró dichos factores (fosforo y potasio) para evidenciar el aumento o disminución de dichos macronutrientes tras la adición del contaminante y como varían en los distintos tratamientos empleados. Según (GONZALEZ, 2014) nos muestra los niveles de fosforo (ppm) según la textura del suelo, los valores para el suelo franco son menores de 12 ppm y se le considera como bajo. Comparando a nuestro suelo en estudio de textura franco - arenoso. El suelo original presenta 7,35 ppm de fosforo; al ser contaminado con Pb baja a 6,54 ppm. Tras la aplicación de los diferentes tratamientos los resultados del fosforo varían de 5,07 ppm hasta 5,56 ppm considerándose aún bajo, no obteniendo variación y se muestra resultados que coinciden con el autor.

Según MOSQUERA (2017) nos muestra los niveles de potasio (ppm) según la textura del suelo, siendo para suelos franco arenosos < 95 ppm y se consideran como bajo. Comparando a nuestros resultados el suelo original es de 52,18 ppm, al ser contaminado con Pb baja a 39,43 ppm. Tras la aplicación de los tratamientos los resultados del potasio varían de 21,3 ppm hasta 87,22 ppm corroborando así que todos poseen valores bajos para este tipo de suelo. Los valores coinciden con el suelo de nuestro estudio.

## **VI. CONCLUSIÓN**

1. El EDTA es el extractante más adecuado para la remoción del plomo a una concentración apropiada de 0,5M.
2. Se determinó una eficiencia máxima de remoción de plomo del 69,5%.
3. Se determinó que el efecto del extractantes mantienen las propiedades químicas del suelo inicial en materia orgánica y nitrógeno orgánico.
4. Se determinó que el efecto de los extractantes disminuyeron las propiedades químicas del suelo inicial en pH y fosforo (P).
5. Se determinó que el efecto de los extractantes incremento las propiedades químicas del suelo inicial en materia orgánica, CIC, Ca y Mg.

## **VII. RECOMENDACIONES**

1. Investigar y proponer otros tipos de extractantes a utilizar en el lavado de suelo según el contaminante que se desea remover.
2. Investigar la variación en la eficiencia de remoción referente al tiempo de permanencia de los extractantes con el suelo contaminado.
3. Realizar análisis químicos de carbonatos, pues interfiere en la movilidad de los metales en el suelo.
4. Realizar el análisis del agua residual después del tratamiento de lavado de suelo.

## VIII. ABSTRACT

The objective of the present investigation is the removal of lead from the soil by means of the technique of soil washing laboratory scale with three types of extractants such as EDTA, citric acid and acetic acid, at two different concentrations of 0,3M and 0,5M; These factors were adjusted factorially, generating 6 treatments and a control, for each treatment there were 3 repetitions. These treatments were implemented in sedimentation columns of PET-type material measuring 22cmx15cm as an experimental unit.

It was determined that the most efficient extractant in the removal of lead from soil is EDTA, followed by citric acid and finally acetic acid, on the other hand it was determined that the most optimal concentration is 0,5M, concluding that the best treatment for the soil washing is with the 0,5 M EDTA extractant; achieving a lead removal efficiency of 69.5%.

## IX. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

ALBERT, L. 1997. Introducción a la Toxicología Ambiental. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud Ambiental - División de Salud y Ambiente. 180 p.

ALCAINO, G. 2012. Análisis y comparación de tecnologías de remediación para suelos contaminados con metales. Universidad de Chile – Facultad de Ciencias Físicas t Matemáticas. Santiago de Chile. Chile. 63 p.

ALLOWAY, B. 1995. Heavy metals in soil. Weinheim. Germany. Blackie Academic and Professional. 986 p.

BADII, M., CASTILLO; J., RODRÍGUEZ, M., WONG, A. y VILLALPANDO, P. 2007. Diseños experimentales e investigación científica. Edit. UANL, México, 48 p.

CHU, W., CHAN, K. 2003. The mechanism of the surfactant-aided soil washing system for hydrophobic and partial hydrophobic organics. USA. 92 p.

DE LA PEÑA, V. 2014. Evaluación de la concentración de plomo y cadmio en suelo superficial de parques y plazas públicas, en tres municipios del área

Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 160 p.

EL-BAHI, S. 2004. Elemental analysis of Egyptian phosphate fertilizer components. Health Phys. Egipto. 49 p.

EURICH - MENDEN, B., WEGENER, B. 1996. Humus in Germany. Institute für Bodenkunde und Bodenerhaltung der Justus-Liebig. Universidad de Gießen. Alemania. 124 p.

FAO. 2015. El suelo es un recurso no renovable su conservación es esencial para la seguridad alimentaria y nuestro futuro sostenible. Roma. Italia. 4 p.

GARAVITO, F. 2012. Propiedades químicas de los suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá D.C. Colombia. 560 p.

GARCIA, J. y MENDOZA, M. 1999. Determinación de Niveles de Plomo en Escolares del Distrito de Comas. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. Perú. 387 p.

GAZTAÑAGA, C. 1998. Fuentes de plomo en Lima y Callao. Dirección General de Salud. Lima. Perú. 200 p.

GOMEZ, J. 2013. Manual de prácticas de campo y del laboratorio de suelos. Tolima. Colombia. Centro Agropecuario La Granja. 103 p.

- GONZALEZ, J. 2014. Efecto del uso y ocupación en las propiedades físicas y químicas en un suelo del piedemonte llanero. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. Bogotá. Colombia. 129 p.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. 2006. Informe Anual para 2006. 126 p. [En línea]: IAEA, ([https://www.iaea.org/sites/default/files/gc51-5\\_sp.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/gc51-5_sp.pdf), 17 agosto del 2018).
- MAHECHA, J. *et al.*, 2015. Contenido de metales pesados en suelos agrícolas de la región del Ariari. Universidad de Los Llanos. Departamento del Meta. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Orinoquia. Volumen 19. Colombia. 122 p.
- MALLEA, I. 2013. Remediación de suelos contaminados y análisis de un proyecto piloto en Chile, en el marco del sistema de impacto ambiental. Universidad de Barcelona. Santiago de Chile. Chile. 15 p.
- MANZANARES, E., VEGA, H., SALAS, M., HERNANDEZ, V., LETECHIPIA, C., BAÑUELOS, R. 2006. Niveles de plomo en la población de alto riesgo y su entorno en San Ignacio, Fresnillo y Zacatecas. México. Network of Scientific Journals from Latin America, the Caribbean, Spain and Portugal. 219 p.

- MARCOVECCHIO, J. y MORENO, V. 1991. Metal accumulation in tissues of sharks from the Bahia Blanca Estuary, Argentina. *Marine Environmental Research*. Argentina. 274 p.
- MARTINEZ, V. *et al.* 2010. Lavado de suelo contaminado con plomo y recuperación electroquímica del Pb. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, S. C. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Departamento de Fisiología. Perú. 10 p.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE. 2013. Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM. Peru. 5 p. [En línea]: MINAM, ([http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds\\_002-2013-minam-fe-erratas.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_002-2013-minam-fe-erratas.pdf), 25 julio del 2018).
- MINISTERIO DEL AMBIENTE. 2013. Agenda Nacional de Accion Ambiental. Peru. 69 p. [En línea]: MINAM, ([http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/agendambiental\\_peru\\_2013-20141.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/agendambiental_peru_2013-20141.pdf), 23 setiembre del 2018).
- MOSQUERA, S. 2014. Evaluación de procesos no convencionales de remediación de relaves sulfurados de minería contaminados con cobre, zinc y plomo. Quito. Ecuador. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria. Tesis para optar por el Título de Ingeniero Químico. 219 p.

- MOSQUERA, F. 2017. Variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas en un suelo agrícola en el Valle del Mantaro. Universidad Nacional Agraria la Molina. Escuela de Posgrado. Maestría en Suelos. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Suelos. Lima. Perú. 84 p.
- NOLASCO, G. 2001. Determinación de la concentración de plomo en suelos de Lima Metropolitana y su repercusión en la contaminación ambiental. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Departamento Académico de Farmacología, Toxicología y Bromatología. Tesis para optar por el Título de Ingeniero Químico Farmacéutico. Lima. Perú. 225 p.
- ORTIZ, I., SANZ, J., DORADO, M. y VILLAR, S. 2007. Técnicas de recuperación de suelos contaminados. Editorial Elecé. Industria Gráfica. España. 109 p.
- PEREZ, E. 1953. Todo sobre los quelatos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Walco S.A. Colombia. 16 p.
- SAENZ, L. 2011. Macrofauna y propiedades fisicoquímicas del suelo en sistemas agroforestales con cacao (*Theobroma cacao L.*) y bosques secundarios en el sur occidente de Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Guatemala. 77 p.

## **X. ANEXOS**

## Apéndice 1. Caracterización fisicoquímica del suelo

### Anexo A. Parámetros físicos del suelo

Cuadro 58. Caracterización físico del suelo

Caracterización física del suelo	
Textura	franco arenoso
Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	2,65
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,43
Capacidad de campo (%)	23
Porosidad (%)	53
Humedad (%)	33

## Apéndice 2. Concentración de remoción de Pb

Cuadro 59. Promedio de concentraciones finales de plomo por extractantes y concentraciones

Extractante	Pb Inicial (ppm)	Pb Final (ppm)	Pb final a 0,3M (ppm)	Pb final a 0,5M (ppm)
Ac. acético	79,36	32,43	34,00	30,90
Ac. cítrico	79,36	29,89	32,16	27,60
EDTA	79,36	27,54	30,90	24,20

## Apéndice 3. Eficiencia de remoción de Pb

### Anexo A. referente al extractante optimo

Cuadro 60. Porcentaje de remoción del plomo con referencia al tipo de extractante

Extractante	Pb Inicial	Pb Final	% Remoción
Agua	79,36	74,91	5,61%
Ac.acetico	79,36	32,43	59,14%
Ac.citrico	79,36	29,89	62,33%
EDTA	79,36	27,54	65,30%

### Anexo B. referente a la concentración optima

Cuadro 61. Porcentaje de remoción del plomo con referencia a las concentraciones de los extractantes

Concentración	Pb inicial	Pb final	% Remoción
0,3M	79,36	32,35	59,23%
0,5M	79,36	27,57	65,23%

### Anexo C. Porcentaje de remoción de plomo de los tratamientos propuestos

Cuadro 62. Eficiencia de remoción de Pb de los tratamientos

Tratamiento	Periodo	Concentración de Pb (mg/kg)	Remoción de Pb (%)
Agua	Inicio	79,36	5,62%
	Final	74,90	
Acético 0,5M	Inicio	79,36	61,1%
	Final	30,86	
Acético 0,3M	Inicio	79,36	57,08%
	Final	34,06	
Cítrico 0,5M	Inicio	79,36	65,2%
	Final	27,62	
Cítrico 0,3M	Inicio	79,36	59,48%
	Final	32,16	
EDTA 0,5M	Inicio	79,36	69,5%
	Final	24,18	
EDTA 0,3M	Inicio	79,36	61,06%
	Final	30,9	

## Anexo D. pH de los extractantes

Cuadro 63. pH de las soluciones de lavado

Tratamiento	Repetición	pH Solución	Promedio
Agua	R-1	6,7	6,7
	R-2	6,6	
	R-3	6,7	
0,5M Ac. Acético	R-1	2,75	2,72
	R-2	2,69	
	R-3	2,71	
0,3M Ac. Acético	R-1	2,8	2,80
	R-2	2,78	
	R-3	2,82	
0,5M Ac. Cítrico	R-1	1,98	2,01
	R-2	2,0	
	R-3	2,05	
0,3M Ac. Cítrico	R-1	2,21	2,20
	R-2	2,2	
	R-3	2,18	
0,5M EDTA	R-1	4,37	4,38
	R-2	4,36	
	R-3	4,4	
0,3M EDTA	R-1	4,38	4,41
	R-2	4,45	
	R-3	4,4	

## Apéndice 4. Cálculos de la dilución en la contaminación de las muestras de suelo.

### Anexo A. Solvente a necesitar

Obtenido la capacidad de campo para suelo de textura franco que resulta ser el 23 %, esto quiere decir que en 100g de suelo seco posee 23 ml de agua. Este dato nos servirá para determinar la cantidad de agua máxima que el suelo puede retener, en la presente investigación se determinó 230 ml de agua para 1kg de suelo.

### Anexo B. Sulfato de plomo a necesitar

$$1Kg \times 0.07g [Pb] = 0.07g [Pb]$$

Obtenemos la masa de sulfato de plomo (II) a partir de 0.07g de plomo. Masas atómica: Pb=207,2 y masa molar de PbSO<sub>4</sub>=303,26

$$0.07gr \text{ de Pb} \times \frac{303,26 \frac{g}{mol} [PbSO_4]}{207,2 \frac{g}{mol} [Pb]} = 102mg \text{ de PbSO}_4$$

Necesitaremos 2.15 g de PbSO<sub>4</sub> aforados en 4.83 L para contaminar 21 kilos de suelo.

### Apéndice 5. Curva de calibración y lectura del espectro

#### Anexo A. Curva de calibración empleada

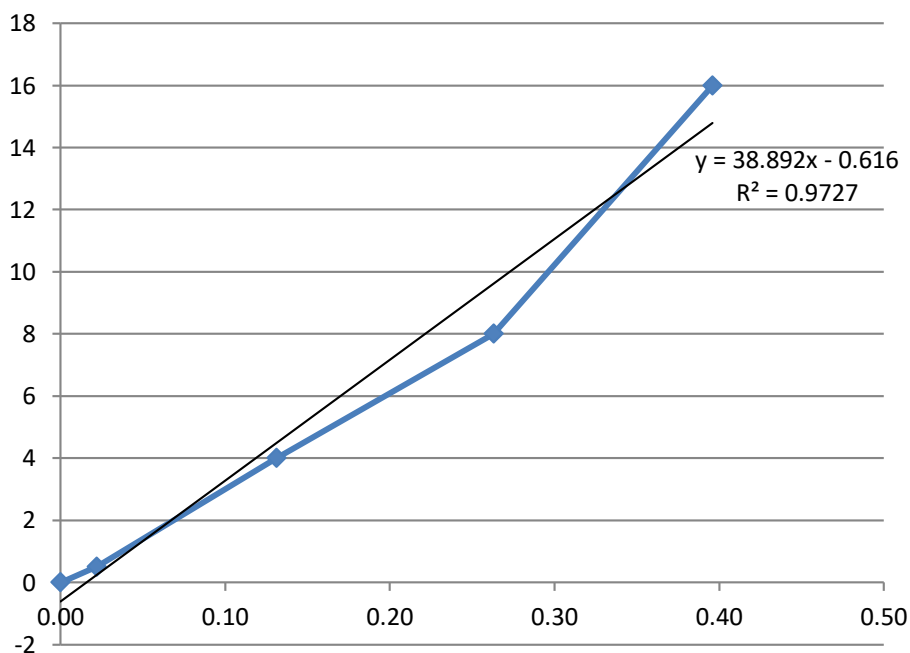


Figura 16. Curva estándar de calibración empleada en la lectura de plomo

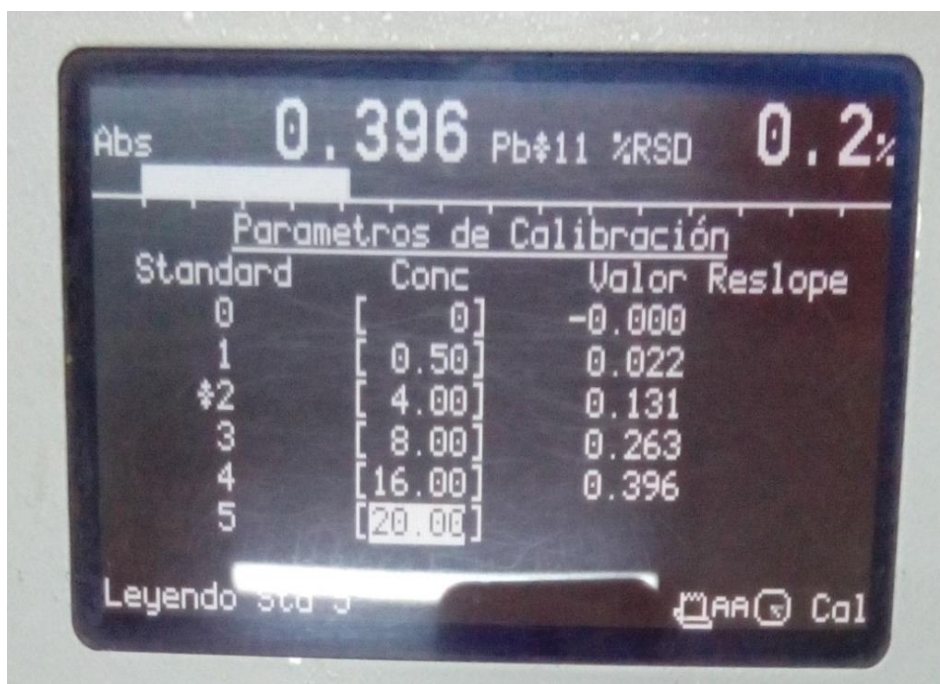


Figura 17. Parámetros de calibración del espectrofotómetro de absorción atómica

#### Anexo B. Lectura del espectro

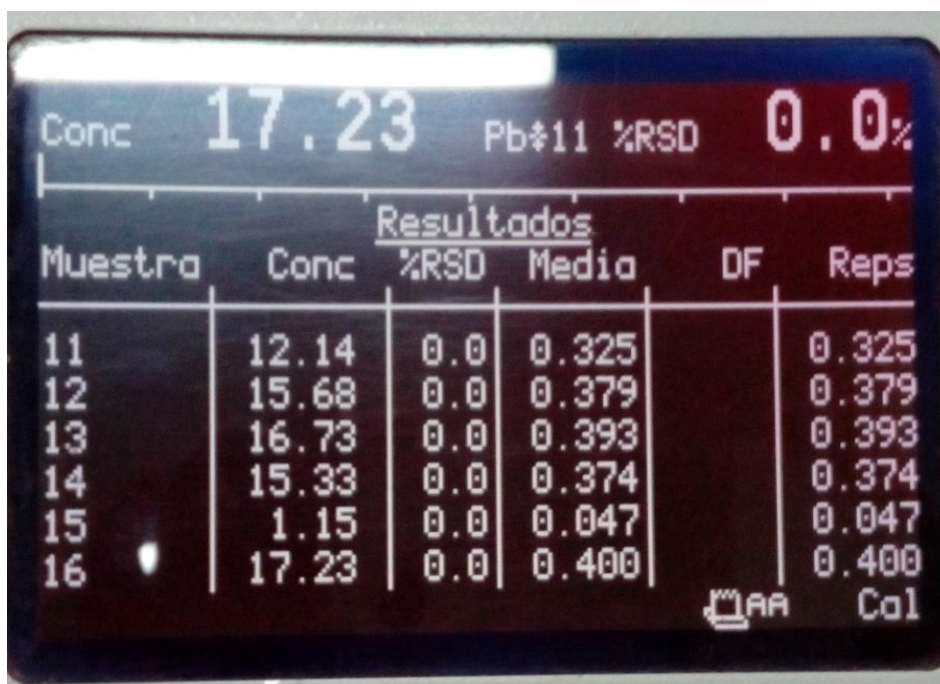


Figura 18. Resultados de la lectura de plomo en el espectrofotómetro de absorción atómica

Apéndice 6. Análisis químicos del suelo



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

AV. UNIVERSITARIA S/N - CARRETERA CENTRAL KM 1.21 - TINGO MARIA - CELULAR 947531359

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos

[analisisdesuelosunas@hotmail.com](mailto:analisisdesuelosunas@hotmail.com)



## ANÁLISIS DE SUELOS

<u>SOLICITANTE:</u>		THALIA GAMARRA ATENCIO										<u>PROCEDENCIA</u>					TARMA - JUNIN							
N°	COD. LAB.	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO			pH	M.O.	N	P	K	Cd	Pb	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg					C/Ce	%	%	%	
		REFERENCIA	CULTIVO	Arena	Arcilla	Limo									Textura	Ca	Mg	K	Na					Al
1	S02701	muestra inicial	PAPA	43	20	37	7.12	1.65	0.074	7.35	52.18	0.042	10.56	11.05	9.26	1.54	0.13	0.12	--	--	100.00	0.00	0.00	0.00

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

FECHA: 15 de febrero del 2018

RECIBO N° 001-0532243



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
LAB. ANALISIS DE SUELOS

*[Signature]*  
Ing. Luis G. Mansilla Miraya  
JEFE

Figura 19. Análisis químico del suelo inicial



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

AV. UNIVERSITARIA S/N - CARRETERA CENTRAL KM 1.21 - TINGO MARIA - CELULAR 941531359

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos

analisis@unaseselva.edu.pe



## ANÁLISIS DE SUELOS

<u>SOLICITANTE:</u>		THALIA GAMARRA ATENCIO										<u>PROCEDENCIA</u>						TARMA - JUNIN							
N°	COD. LAB.	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO				pH	M.O.	N	P	K	Cd	Pb	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg									
		REFERENCIA	CULTIVO	Arena	Arcilla	Limo	Textura									Ca	Mg	K	Na	Al	H	C/Ce		%	%
1	S03826			muestra contaminada con plomo	PAPA	43	20	37	Franco	6.37	1.63	0.073	6.54	39.43	0.043	79.36	9.08	7.34	1.21	0.09	0.44	--	--	--	100.00

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

FECHA : 26 de marzo del 2018

RECIBO N° 001-0532243



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
LAS YANAMAS DE BELLÓN

*[Firma]*  
Ing° Luis O. Masaylla Mingsya  
JEFE



Figura 20. Análisis químico del suelo contaminado con plomo



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

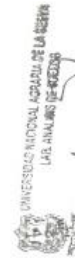
AV. UNIVERSITARIA SIN - CARRETERA CENTRAL KM 1.21 - TINGO MARIA - CELULAR 941531359  
 Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos  
[analisisdesuelosunas@hotmali.com](mailto:analisisdesuelosunas@hotmali.com)



## ANÁLISIS DE SUELOS

<u>SOLICITANTE:</u>		THALIA GAMARRA ATENCIO										<u>PROCEDENCIA</u>										TARMA - JUNIN					
Nº	COD. LAB.	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO			pH	M.O.	N	P	K	Cd	Pb	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%	%	%			
		REFERENCIA	CULTIVO	Arena	Arcilla	Limo									Textura	Ca	Mg	K	Na	Al					H	Bes. Camb.	Ac. Camb.
1	S03956 A	muestra tratada con agua destilada	-	R1	PAPA	39	22	41	Franco	6.65	1.48	0.066	6.02	87.21	0.031	73.85	8.27	6.40	1.07	0.16	0.65	--	--	100.00	0.00	0.00	
2	S03956 B	muestra tratada con agua destilada	-	R2	PAPA	39	22	41	Franco	6.67	1.47	0.066	6.04	87.30	0.030	75.08	8.18	6.35	1.03	0.17	0.63	--	--	100.00	0.00	0.00	
3	S03956 C	muestra tratada con agua destilada	-	R3	PAPA	39	22	41	Franco	6.68	1.49	0.067	6.12	87.15	0.030	75.79	8.31	6.42	1.05	0.18	0.66	--	--	100.00	0.00	0.00	

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE  
 FECHA : 12 de setiembre del 2018  
 RECIBO Nº 001-0547317



Ing. Luis Mansilla Miraya  
 JEFE

Figura 21. Análisis químico del suelo tratado con agua destilada



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

AV. UNIVERSITARIA SIN - CARRETERA CENTRAL KM 1.21 • TINGO MARIA - CELULAR 941531359  
 Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos  
 analisisdesuelosmas@hotmail.com



## ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:		THALIA GAMARRA ATENCION										TARMA - JUNIN														
		PROCEDENCIA																								
N°	COD. LAB.	DATOS		CULTIVO	ANÁLISIS MECÁNICO			pH	M.O.	N	P	K	Cd	Pb	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						C/Ce	%	%	%	
		REFERENCIA	0.5M		R1	Arena	Arcilla									Limo	Textura	Ca	Mg	K	Na					Al
1	S03955 A	muestra tratada con EDTA	0.5M	R1	PAPA	41	21	39	Franco	5.88	1.67	0.075	5.64	85.26	0.025	23.66	13.88	11.42	1.90	0.23	0.32	--	--	100.00	0.00	0.00
2	S03955 B	muestra tratada con EDTA	0.5M	R2	PAPA	41	21	39	Franco	5.88	1.68	0.076	5.61	84.32	0.028	24.35	13.83	11.40	1.87	0.23	0.33	--	--	100.00	0.00	0.00
3	S03955 C	muestra tratada con EDTA	0.5M	R3	PAPA	41	21	39	Franco	5.87	1.67	0.075	5.58	84.90	0.029	24.54	13.85	11.41	1.92	0.21	0.31	--	--	100.00	0.00	0.00
4	S03955 D	muestra tratada con EDTA	0.3M	R1	PAPA	41	21	39	Franco	5.90	1.65	0.074	5.46	83.10	0.022	29.92	13.52	11.20	1.80	0.22	0.30	--	--	100.00	0.00	0.00
5	S03955 E	muestra tratada con EDTA	0.3M	R2	PAPA	41	21	39	Franco	5.92	1.66	0.075	5.49	82.45	0.021	30.84	13.46	11.17	1.78	0.20	0.31	--	--	100.00	0.00	0.00
6	S03955 F	muestra tratada con EDTA	0.3M	R3	PAPA	41	21	39	Franco	5.91	1.66	0.075	5.47	83.00	0.022	31.93	13.54	11.22	1.81	0.22	0.29	--	--	100.00	0.00	0.00

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

FECHA: 12 de setiembre del 2018

RECIBO N° 001-0547317



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
 FACULTAD DE AGRONOMIA  
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS

Ing. Luis G. Mansilla Miraya  
 JEFE



Figura 22. Análisis químico del suelo tratado con EDTA



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

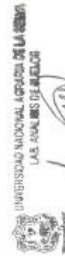
AV. UNIVERSITARIA S/N - CARRETERA CENTRAL KM 1.21 - TINGO MARIA - CELULAR 941531359  
 Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos  
[analisisdesuelos@hotmmail.com](mailto:analisisdesuelos@hotmmail.com)



## ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:		THALIA GAMARRA ATENCIO												TARMA - JUNIN											
		PROCEDENCIA																							
N°	COD. LAB.	DATOS		ANÁLISIS MECANICO			pH	M.O.	N	P	K	Cd	Pb	CIC	CAMBIABLES Cmol(+) / Kg					CICe	%	%	%		
		REFERENCIA	CULTIVO	Arena	Arcilla	Limo									Textura	Ca	Mg	K	Na					Al	H
1	S03953 A	muestra tratada con ácido cítrico	0.5M R1	42	22	36	Franco	5.57	1.63	0.073	5.24	23.99	0.025	26.76	13.40	10.32	1.72	0.24	1.12	--	--	--	100.00	0.00	0.00
2	S03953 B	muestra tratada con ácido cítrico	0.5M R2	42	22	36	Franco	5.56	1.62	0.073	5.18	23.78	0.028	27.88	13.29	10.23	1.72	0.22	1.12	--	--	--	100.00	0.00	0.00
3	S03953 C	muestra tratada con ácido cítrico	0.5M R3	42	22	36	Franco	5.56	1.61	0.072	5.74	23.89	0.028	28.23	13.31	10.28	1.69	0.24	1.10	--	--	--	100.00	0.00	0.00
4	S03953 D	muestra tratada con ácido cítrico	0.3M R1	42	22	36	Franco	5.59	1.62	0.073	5.58	21.50	0.031	32.12	13.15	10.15	1.69	0.23	1.08	--	--	--	100.00	0.00	0.00
5	S03953 E	muestra tratada con ácido cítrico	0.3M R2	42	22	36	Franco	5.58	1.63	0.073	5.56	20.98	0.030	32.54	13.09	10.10	1.65	0.24	1.10	--	--	--	100.00	0.00	0.00
6	S03953 F	muestra tratada con ácido cítrico	0.3M R3	42	22	36	Franco	5.59	1.61	0.072	5.55	21.43	0.029	31.82	13.13	10.12	1.67	0.25	1.09	--	--	--	100.00	0.00	0.00

MUESTREO POR EL SOLICITANTE  
 FECHA : 12 de setiembre del 2018  
 RECIBO N° 001-0547317



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
 LAB. ANALISIS DE SUELOS

Ing. Luz G. Mansilla Minaya  
 JEFE



Figura 23. Análisis químico del suelo tratado con ácido cítrico



# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

AV. UNIVERSITARIA S/N - CARRETERA CENTRAL KM 1.21 - TINGO MARIA - CELULAR 944531359  
 Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos  
[analisisdesuelos@unahs.com](mailto:analisisdesuelos@unahs.com)



## ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:		THALIA GAMARRA ATENCIO												TARMA - JUNIN												
		PROCEDENCIA																								
N°	COD. LAB.	DATOS		CULTIVO	ANÁLISIS MECÁNICO			pH 1:1	M.O. %	N %	P ppm	K ppm	Cd ppm	Pb ppm	CIC	CAMBIABLES Cmo(±)/kg						Cice	%	%	%	
		REFERENCIA	0.5M		0.3M	Textura	Arena %									Arcilla %	Limo %	Ca	Mg	K	Na					Al
1	S03954 A	muestra tratada con ácido acético	0.5M	R1	PAPA	42	21	37	Franco	5.71	1.55	0.070	5.14	49.18	0.034	30.76	12.72	9.91	1.65	0.21	0.95	--	--	100.00	0.00	0.00
2	S03954 B	muestra tratada con ácido acético	0.5M	R2	PAPA	42	21	37	Franco	5.70	1.56	0.070	5.15	48.56	0.033	29.89	12.61	9.83	1.65	0.20	0.93	--	--	100.00	0.00	0.00
3	S03954 C	muestra tratada con ácido acético	0.5M	R3	PAPA	42	21	37	Franco	5.69	1.55	0.070	5.12	49.00	0.032	31.93	12.71	9.92	1.64	0.21	0.94	--	--	100.00	0.00	0.00
4	S03954 D	muestra tratada con ácido acético	0.3M	R1	PAPA	42	21	37	Franco	5.73	1.56	0.070	5.08	45.09	0.038	33.92	12.09	9.50	1.60	0.19	0.80	--	--	100.00	0.00	0.00
5	S03954 E	muestra tratada con ácido acético	0.3M	R2	PAPA	42	21	37	Franco	5.74	1.55	0.070	5.06	44.87	0.037	34.98	12.01	9.45	1.59	0.18	0.79	--	--	100.00	0.00	0.00
6	S03954 F	muestra tratada con ácido acético	0.3M	R3	PAPA	42	21	37	Franco	5.73	1.56	0.070	5.08	45.12	0.036	33.09	12.13	9.55	1.61	0.16	0.81	--	--	100.00	0.00	0.00

MUESTREO POR EL SOLICITANTE  
 FECHA: 12 de setiembre del 2018  
 RECIBO N° 001-0547317



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
 LAB. ANALISIS DE SUELOS

*[Signature]*  
 Ing. Luis G. Manófila Mieraya  
 JEFE

Figura 24. Análisis químico del suelo tratado con ácido acético

## Apéndice 7. Panel fotográfico

### Anexo A. contaminación del suelo



Figura 25. Pesaje de las muestras del suelo



Figura 26. Preparación de la dilución de sulfato de plomo



Figura 27. Contaminación de las muestras de suelo con dilución de sulfato de plomo

#### Anexo B. Construcción del equipo



Figura 28. Acondicionamiento del equipo de lavado de suelo a escala laboratorio



Figura 29. Extractantes utilizados para la remoción de plomo



Figura 30. Lavado de suelos a escala laboratorio

#### Anexo D. secado y molido del suelo tratado



Figura 31. Secado de las muestras de suelo



Figura 32. Molido de las muestras de suelo

## Anexo E. Análisis de los parámetros químicos del suelo



Figura 33. Muestras de suelos para sus respectivos análisis físicos y químicos



Figura 34. Lectura de PH de las muestras de suelo



Figura 35. Filtraciones de las muestras de suelo para análisis químicos



Figura 36. Lectura de PH de los extractantes utilizados

## Anexo F. Análisis en el espectrofotómetro de absorción atómica



Figura 37. Diluciones para la lectura de Pb en el espectrofotómetro de absorción atómica



Figura 38. Lectura de las muestras de Pb

